



Joni Jukonen

Metropolian Leiritien yksikön kemiantekniikan laboratorioden syttymislähteiden riskin arviointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Kemiantekniikka
Insinöörityö
13.5.2011

Tekijä	Joni Jukonen
Otsikko	Metropolian Leiritien yksikön kemiantekniikan laboratorioiden syttymislähteiden riskien arviointi
Sivumäärä	42 sivua + 7 liitettä
Aika	13.5.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessien suunnittelu ja käyttö
Ohjaaja(t)	Projekti-insinööri Johanna Kortesalmi Yliopettaja Pekka Lehtonen
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli tehdä Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien yksikön kemiantekniikan laboratoriotiloihin ATEX-tilaluokitus ja riskin arviointi. Kemiantekniikan laboratorioissa olevissa painereaktorissa ja Fischer-Tropsch-laitteistossa käytetään herkästi syttyvää vetykaasua, ja sitä varten laitteistot ja tilat tulee arvioida. Lisäksi Fischer-Tropsch-laitteiston reaktiokaasu on synteesikaasu, joka on vetykaasun ja hiilimonoksidikaasun seos.</p> <p>Arviointi suoritettiin kolmen hengen ryhmässä. Arvioinnissa pohdittiin molempien laitteistojen osalta mahdollisia syttymislähteitä ja niihin varautumista. Riskin arvioinnista tehtiin taulukot molemmille laitteistoille, sekä ennakoitavissa oleville häiriötilanteille että ennakoimattomille häiriötilanteille. Taulukoissa esitetään syttymislähde, riskin numeraalinen arvo asteikolla 1-5 ja toimenpide-ehdotus.</p> <p>Tilaluokitus suoritettiin palavien kaasujen takia, joten tällöin tilaluokitus tehtiin asteikolla 0-2, jossa 0 on tiukin tilaluokka. Tilaluokitus määrää tiloissa käytettävien laitteiden minimilaiteluokat.</p> <p>Molemmat laitteistot ovat normaalisti toimiessaan turvallisia, mutta mahdollisissa häiriötilanteissa saattaa syntyä vaarallinen tilanne. Häiriötilanteiden todennäköisyyttä ja vakavuutta voidaan pienentää ennakkovalmisteluilla.</p>	
Avainsanat	ATEX, painereaktori, Fischer-Tropsch, riskin arviointi

Author	Joni Jukonen
Title	Risk assessment of ignition sources in Metropolia chemical engineering laboratories
Number of Pages	42 pages + 7 appendices
Date	13 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Design and Operation
Instructor(s)	Johanna Kortesalmi, Project Engineer Pekka Lehtonen, Principal lecturer
<p>The goals of this thesis project were to do ATEX zone classification and risk assessment for the chemical engineering laboratory facilities of Helsinki Metropolia University Of Applied Sciences. The pressure reactor and the Fischer-Tropsch synthesis equipment, that are located in the chemical engineering laboratory facilities use flammable hydrogen gas; therefore, the equipment and the facilities should be evaluated. In addition, the reaction gas of the Fischer-Tropsch synthesis is a mixture of hydrogen and a carbon monoxide.</p> <p>The evaluation was done in a group of three people. The evaluation considered possible sources of ignition and preparation for them for both installations. The risk assessments for both installations were done as tables for foreseeable failure situations and unexpected failure situations. The tables indicate the source of ignition, the numerical value of the risk on scale 1-5 and the proposal for action.</p> <p>A classification of zones was done because of flammable gases; in this case, classifications were done on scale 0-2, where 0 is the strictest. The classification number of the premises determines the minimum class of equipment used.</p> <p>When working properly, both installations are safe, but possible fault situations might create a dangerous situation. The likelihood and severity of the fault situations can be reduced with early preparation.</p>	
Keywords	ATEX, pressure reactor, Fischer-Tropsch, risk assessment

Määritelmät

ATEX	Ranskankielisistä sanoista <i>atmospheres explosibles</i> eli räjähdyskelpoinen ilmaseos.
Eksotermisen reaktio	Reaktio, jossa vapautuu lämpöä.
Inertti	Inertti tarkoittaa ainetta, joka yleensä on reagoimaton kaasu.
Itsesyttymislämpötila	Itsesyttymislämpötila on alin lämpötila, jossa aine syttyy palamaan ilman ulkopuolista lämmönlähdettä ja jatkaa palamistaan.
Leimahduspiste	Leimahduspiste on alin lämpötila, jossa nesteestä normaali-ilmanpaineessa haihtuvan höyryn ja ilman muodostama seos syttyy.
LEL	Englanninkielisistä sanoista <i>Lower Explosive Limit</i> eli alempi räjähdysraja.
Luonnollinen ilmanvaihto	Tuulen ja/tai lämpötilaeron aiheuttama ilmanvirtaus.
KOM	Euroopan yhteisöjen komissio.
Koneellinen ilmanvaihto	Ilmanvirtaus, joka on saatu aikaan puhaltimilla jne.
Korkein sallittu pintalämpötila	Sähkölaitteelle korkein sallittu pintalämpötila, joka ei vielä aiheuta palavan aineen syttymistä.
KTMp	Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös.

Normaali toiminta	Tilanne, jolloin laite toimii suunnitteluarvojen mukaisesti.
ppm	Englanninkielisistä sanoista <i>parts per million</i> eli miljoonasosa.
Päästölähde	Paikka, josta palavaa ainetta vapautuu tai pääsee ympäristöön niin paljon, että räjähdyskelpoinen ilmaseos voi muodostua.
R-lauseke	Vaaraa osoittava standardilauseke. Antaa lisätietoja varoitusmerkin kertomasta vaarallisesta ominaisuudesta.
R12	Erittäin helposti syttyvä.
R23	Myrkyllistä hengitettynä.
R48/23	Myrkyllistä: pitkäaikainen altistus voi aiheuttaa vakavaa haittaa terveydelle myös hengitettynä.
R61	Vaarallista sikiölle.
Rajarakoleveys	Rako, jonka avulla määritetään räjähdysliekin läpäisykyky.
Reagenssi	Kemiallisessa reaktiossa reagoiva aine tai seos.
Riski	Haitallisen tapahtuman todennäköisyyden ja vakavuuden yhdistelmä.
Räjähdyskelpoinen ilmaseos	Räjähdyskelpoisella ilmaseoksella tarkoitetaan normaali-paineisen ilman ja kaasun, höyryn, sumun tai pölyn muodossa olevien palavien aineiden seosta, jossa palaminen leviää syttymisen jälkeen koko palamattomaan seokseen.

Räjähdysvaarallinen tila	Tila, jossa räjähdyskelpoista kaasuseosta esiintyy tai saattaa esiintyä niin paljon, että laitteiden rakenteille, asennukselle ja käytölle on asetettava erityisvaatimuksia.
Räjähdysvaaraton tila	Tila, jossa räjähdyskelpoista kaasuilmaseosta ei oletettavasti esiinny niin paljon, että laitteiden rakenteelle, asennukselle ja käytölle olisi asetettava erityisvaatimuksia.
Syttymisraja	Syttymisrajojen välillä olevalla pitoisuusalueella kaasun ja ilman seos saattaa syttyä. Kaasuilla syttymisrajat ilmoitetaan tilavuusprosentteina ilmassa, pölyäville aineille ilmoitetaan painona tilavuutta kohden.
TUKES	Turvatekniikan keskus.
UEL	Englanninkielisistä sanoista <i>Upper Explosive Limit</i> eli ylempi räjähdysraja.
Vaarallinen räjähdyskelpoinen ilmaseos:	Räjähdyskelpoinen ilmaseos, jota on vaarallisen paljon.
Virhetoiminto, toimintahäiriö	Tilanne, jossa laitteet, suojausjärjestelmät tai komponentit eivät suorita tarkoitettua toimintoa.
VNa	Valtioneuvoston asetus.
Vähimmäissytytysvirta	Virta, joka aiheuttaa normitetussa laitteistossa syttymisen.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lainsäädäntö	2
2.1	Työturvallisuuslaki	2
2.2	ATEX	3
2.3	ATEX-direktiivit	3
2.3.1	ATEX-laitedirektiivit	4
2.3.2	ATEX-työolosuhdedirektiivi	5
2.4	Paineastialaki	5
2.5	Valvonta	6
2.6	ATEX-merkinnät	7
2.6.1	Ex-tila	7
2.6.2	Ex-laite	7
3	Luokitukset ja laitevalinnat	9
3.1	Tilaluokat	9
3.1.1	Tilaluokitustarve	9
3.1.2	Tilaluokat kaasuilla ja nesteillä	9
3.1.3	Tilaluokat pölyillä	10
3.2	Laiteluokat	10
3.2.1	Ryhmä I	12
3.2.2	Ryhmä II	12
3.3	Laitteiden valitseminen	13
4	Riskit ja toimenpiteet vahinkojen minimoimiseksi	16
4.1	Riskin arviointi	16
4.2	Riskin arvioinnin perusvaiheet	16
4.3	Syttymislähteet	17
4.3.1	Kuumat pinnat	19
4.3.2	Liekit ja kuumat kaasut	19
4.3.3	Mekaanisesti syntyvät kipinät	19
4.3.4	Sähkölaitteet	20
4.3.5	Staattinen sähkö	20
4.3.6	Kemialliset reaktiot	20

4.4	Räjähdyssuojaustoimenpiteet	21
4.4.1	Palavien aineiden korvaaminen	21
4.4.2	Räjähdyssrajojen ulkopuolella pysytteleväminen	21
4.4.3	Inertointi	22
4.4.4	Laitteiston tiiveys ja ilmanvaihto	22
4.4.5	Kaasuilmaisin	23
4.5	Syttymisen estäminen	23
4.6	Räjähdyksen vaikutuksen rajaaminen	24
5	Räjähdyssuojausasiakirja	26
6	Kaasut	28
6.1	Vety	28
6.2	Hiilimonoksidi	28
6.3	Helium	29
6.4	Typpi	29
7	Kemiantekniikan laboratorioiden räjähdysvaaralliset tilat	30
7.1	Painereaktori	31
7.1.1	Laitteisto	33
7.1.2	Vaarojen arviointi	33
7.1.3	Tilojen kartoitus	34
7.1.4	Toimenpiteet	35
7.2	Fischer-Tropsch-laitteisto	35
7.2.1	Laitteisto	36
7.2.2	Vaarojen arviointi	37
7.2.3	Tilojen kartoitus	38
7.2.4	Toimenpiteet	38
8	Yhteenveto	39
	Lähteet	40
	Liitteet	
	Liite 1. Palavien kemikaalien taulukko	
	Liite 2. Painereaktorin ennakoitavissa olevat häiriötilanteet	
	Liite 3. Painereaktorin ennakoimattomat häiriötilanteet	
	Liite 4. Fischer-Tropsch-laitteiston ennakoitavissa olevat häiriötilanteet	
	Liite 5. Fischer-Tropsch-laitteiston ennakoimattomat häiriötilanteet	
	Liite 6. Painereaktorin käyttöohje	
	Liite 7. Fischer-Tropsch-laitteiston käyttöohje	

1 Johdanto

Lyhenne ATEX tulee ranskankielisistä sanoista *atmospheres explosibles* eli räjähdyskel-poinen ilmaseos.

Direktiivit 94/9/EY ja 99/92/EY tunnetaan yleisesti ATEX-direktiiveinä. Direktiivi 94/9/EY on niin sanottu laitedirektiivi, jonka tarkoituksena on yhtenäistää turvavaatimukset ja mahdollistaa tuotteiden vapaa liikkuvuus jäsenalueella. Direktiivi 99/92/EY on niin sa-nottu työolosuhdedirektiivi, jonka tarkoituksena on taata turvallinen työskentely räjähdysvaarallisissa tiloissa.

Tiloissa, joissa saattaa esiintyä räjähdysvaarallista ilmaseosta, tulee tehdä tilaluokitus. Tilaluokka määrää tiloissa käytettävien laitteiden minimilaiteluokan.

Räjähdys-suojausasiakirjan laatiminen kuuluu työnantajan velvoitteisiin, jotka sisältyvät direktiiviin 99/92/EY. Asiakirja tulee laatia ennen kuin tilat otetaan käyttöön. Räjähdys-suojausasiakirja laaditaan työpaikan henkilöturvallisuuden parantamiseksi. Sitä tulee päivittää, täydentää ja tarkistaa tehtäessä muutoksia työskentelytiloihin, työvälineisiin tai työjärjestelyihin.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tehdä Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien yksikön kemiantekniikan laboratoriotiloihin, joissa käytetään helposti syttyvää vetykaa-sua, ATEX-kartoitus ja syttymislähteiden riskin arviointi, jotka tulevat olemaan osa myöhemmin tehtävää räjähdys-suojausasiakirjaa. Kemiantekniikan laboratoriotiloissa on painereaktori ja Fischer-Tropsch-laitteistot, joissa käytetään herkästi syttyvää vetykaa-sua. Näitä laitteistoja varten tehdään tilaluokitus, selvitetään palavat aineet, syttymis-lähteet, riskien suuruudet ja toimenpiteet riskien pienentämiseksi.

Insinööriyöhön kuuluu myös molemmille laitteistoille tehtävät käyttöohjeet.

2 Lainsäädäntö

2.1 Työturvallisuuslaki

Työturvallisuuslaki määrittää työnantajan huolehtimisvelvoitteen ja se myös velvoittaa työnantajaa selvittämään työn vaarat ja niiden arvioinnin. (1, 8 §, 10 §)

Työturvallisuuslain mukaan työnantaja on velvollinen huolehtimaan työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä. Huolehtimisvelvollisuuteen eivät kuitenkaan kuulu epätavalliset ja odottamattomat olosuhteet, joihin työnantaja ei voi vaikuttaa, eivätkä poikkeukselliset tapahtumat, joiden seurauksia ei olisi voitu välttää, vaikka kaikkia varotoimia olisi noudatettu. Olosuhdetta ei kuitenkaan pidetä odottamattomana, jos vaaran aiheuttajaa ei ole huomattu tehtyjen vaara- ja haittaselvitysten yhteydessä. (1, 8 §)

Työolosuhteiden osalta työnantajan tulisi pyrkiä estämään vaara- ja haittatekijöiden syntyminen. Jos niiden syntymistä ei voida estää, tulisi tällöin vaara- ja haittatekijät poistaa tai, mikäli tämäkään ei ole mahdollista, tulisi ne korvata vähemmän vaarallisilla tai vähemmän haitallisilla. Työsuojelutoimenpiteet, jotka vaikuttavat yleisesti, tulee toteuttaa ennen yksilöllisiä työsuojelutoimenpiteitä. Työnantajan tulee pyrkiä olemaan tietoinen tekniikan ja muiden käytettävissä olevien keinojen kehittymisestä ja otettava ne huomioon. (1, 8 §)

Työnantajan tulee jatkuvasti tarkkailla työympäristöä, työyhteisöä ja työtapojen turvallisuutta. Tarkkailun piiriin kuuluu myös toteutettujen toimenpiteiden vaikutus työn turvallisuuteen ja terveyteen. (1, 8 §)

Työnantajan on selvitettävä ja tunnistettava työstä, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät. Mikäli niitä ei pystytä poistamaan, on niiden merkitys työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden kannalta arvioitava. Työnantajalla tulee olla tallessa edellä mainitut selvitykset ja arvoinnit. Ne on tarkistettava silloin, kun olosuhteet työpaikalla muuttuvat olennaisesti, ja ne on muutenkin pidettävä jatkuvasti ajan tasalla. (1, 10 §)

VNa:lla voidaan antaa tarkempia ohjeita selvityksen ja arvioinnin laatimisesta, ottaen huomioon eri alojen erilaiset luonteet. (1, 10 §)

Jos työnantajalla ei ole riittävää tietotaitoa, on työnantajan käytettävä työterveyshuoltoa tai muuta ulkopuolista asiantuntijaa. Käytettäessä ulkopuolista asiantuntijaa on työnantajan tehtävä varmistaa, että asiantuntijalla on riittävä pätevyys ja muut edellytykset tehtävän suorittamiseen. (1, 10 §)

2.2 ATEX

ATEX-lainsäädäntö koskee räjähdysvaarallisia tiloja ja niissä sijaitsevia laitteita, sekä toimintaa räjähdysvaarallisissa tiloissa. Räjähdysvaaralliseksi tilaksi katsotaan tilat, joissa räjähdysvaaran voivat aiheuttaa palavat nesteet, kaasut sekä pölyt, jotka muodostavat räjähtävää ilmaseosta niin paljon, että tarvitaan erityisiä suojatoimenpiteitä työntekijöiden suojelemiseksi. Räjähdysvaarallisia tiloja on useilla teollisuuden aloilla, kuten esimerkiksi palavien nesteiden ja kaasujen valmistuksessa, käytössä ja varastoinnissa. Pienteollisuudessa, liikerakennuksissa sekä maataloudessakin saattaa myös esiintyä räjähdysvaarallisia tiloja. (2, s. 4-5, 7; 4, s. 2)

2.3 ATEX-direktiivit

EY:n direktiiveistä 94/9/EY ja 99/92/EY käytetään yleisesti nimitystä ATEX-direktiivit. Direktiivi 94/9/EY on laitedirektiivi ja 99/92/EY on työolosuhdedirektiivi. Nämä direktiivit koskevat räjähdysvaarallisia tiloja sekä laitteita ja työskentelyä räjähdysvaarallisissa tiloissa. Direktiivien tarkoitus on taata turvalliset työolosuhteet räjähdysvaarallisissa tiloissa ja yhtenäistää jäsenvaltioiden turvallisuusvaatimuksia sekä varmistaa Ex-laitteille vapaa kauppa. Yksikään jäsenvaltio ei saa rajoittaa millään lailla direktiivin 94/9/EY mukaisten laitteiden markkinoilletuontia ja käyttöönottoa. (2, s. 4; 3, s. 3-4; 4, s. 2)

Direktiivit ovat lainsäädäntövelvoitteita, jotka sitovat jäsenmaita. Maiden tulee muuttaa lainsäädäntöään direktiivien mukaisiksi. ATEX-direktiivit ovat kuitenkin käytännössä ainoastaan minimivaatimuksia. Jokaisella jäsenvaltiolla on mahdollisuus määrätä itse tiukemmat turvallisuusvaatimukset omiin lakeihinsa. (10, s. 1; 13)

2.3.1 ATEX-laitedirektiivit

Direktiivi 94/9/EY, jota kutsutaan myös ATEX-laitedirektiiviksi, koskee räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettuja laitteita ja suojausjärjestelmiä sekä tietyissä tapauksissa myös yksittäisiä komponentteja sekä laitteista koottuja laitekoonpanoja. Direktiivin tarkoitus on yhtenäistää turvavaatimukset ja mahdollistaa tuotteiden vapaa liikkuvuus jäsenalueella. Direktiivi 94/9/EY yhdistää direktiivit 76/117/ETY, 79/196/ETY(1) ja 82/130/ETY, jotka kumottiin 1.7.2003, jolloin yhdistettiin kaivoksissa käytettäviä laitteita ja muissa paikoissa käytettäviä laitteita koskeneet direktiivit. (2, s. 4-5; 3, s. 2, 7; 4, s. 2)

Suomessa on ATEX-laitedirektiiviin pohjautuva kansallinen lainsäädäntö ollut voimassa vuodesta 1996 lähtien asetuksella (917/1996) ja KTMp:llä (918/1996). 1.7.2003 lainsäädännön siirtymäaika loppui ja uudet velvoitteet tulivat voimaan. Tällöin räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitettuja uusia tuotteita ei saa myydä eikä ottaa käyttöön, jos ne eivät ole uusien määräyksien mukaisia. (2, s.4, 7; 4, s. 2)

ATEX-laitteita ovat sähkölaitteet, mekaaniset laitteet, joihin kuuluvat pumpput, vaihteet, nostimet sekä automaattiventtiilit. Suojausjärjestelmät, turva-, säätö- ja ohjauslaitteet sekä laitteiden ja suojausjärjestelmien komponentit ovat myös ATEX-laitteita. (2, s. 5,7; 4, s. 2; 13)

Lääkintälaitteet ja kotitalouksien kaasulaitteet eivät puolestaan kuulu ATEX-direktiivien alle. Laitteet ja suojajärjestelmät eivät kuulu ATEX-direktiivien pariin, silloin kun räjähdysvaara johtuu ainoastaan räjähtävän tai epävakaan kemiallisen aineen läsnäolosta. Myöskään henkilökohtaiset suojavälineet sekä henkilö- ja tavarakuljetuksiin käytettävät laitteet eivät kuulu laitedirektiivin sovelluskohteisiin, kuten eivät kuulu nekkään laitteet, joita käytetään laivoissa. Direktiivin ulkopuolelle jäävät myös kaikki ainoastaan ihmisten kuljettamiseen tarkoitetut ajoneuvot pois lukien ajoneuvot, jotka on tarkoitettu käytettäväksi räjähdysvaarallisissa tiloissa. (3, s. 3; 13)

2.3.2 ATEX-työolosuhdedirektiivi

Direktiivi 99/92/EY, jota kutsutaan myös ATEX-työolosuhdedirektiiviksi, on minimiturvallisuusvaatimus räjähdysvaarallisissa tiloissa työskentelevien ihmisten työturvallisuuden parantamiseksi. Direktiivi koskee työnantajia, joiden tiloissa työntekijä saattaa altistua räjähdysvaaralle, jonka aiheuttavat palavat nesteet, kaasut tai pölyt. Direktiivi koskee myös kaikkia, jotka työskentelevät Ex-tiloissa ja suunnittelevat tai rakentavat Ex-tiloja. (2, s. 4-5; 4, s. 2, 4)

Työnantajan velvollisuuksiin räjähdysvaaran ehkäisemiseksi kuuluu selvittää räjähdysvaaran olemassaolo ja räjähdysten estäminen ja suojautuminen sekä oikean laitteen valitseminen oikeaan tilaan. Velvollisuuksiin kuuluu myös työntekijöiden perehdyttäminen ja räjähdysuojasiasiakirjan laatiminen. (2, s. 9, 11; 4, s. 2)

Hoidon aikana hoitotilat, direktiivin 90/396/ETY mukaisten kaasumaisia polttoaineita käyttävien laitteiden käyttö sekä räjähdysaineiden tai epävakaiden kemiallisten aineiden valmistaminen, käsittely, käyttö, varastointi ja kuljetus eivät kuulu direktiivin 99/92/EY piiriin. Myöskään direktiivien 92/91/ETY ja 92/104/ETY soveltamisalan kaivosteollisuuden yrityksiin ei koske direktiivi 99/92/EY.

Suomessa direktiivi saatettiin voimaan 1.9.2003 koskien uusia räjähdysvaarallisia tiloja sekä ennen kyseistä päivää käyttöön otettuja tiloja, joissa on tehty muutoksia ja korjauksia. Vanhojen tilojen kohdalla uudet vaatimukset astuivat voimaan siirtymäajan jälkeen 1.7.2006. (2, s. 4; 4, s. 4)

2.4 Paineastialaki

Painelaitteita ovat lain mukaan säiliöt, putkistot, höyry- tai kuumavesikattilat, varolaitteet tai paineenalaiset lisälaitteet, joiden suurin sallittu käyttöpaine ylittää 0,5 baaria. (5, s. 5)

Painelaitteet tulee rakentaa ja ylläpitää siten, että ne eivät aiheuta kenellekään terveyden tai turvallisuuden vaarantumista. Painelaitteet ja laitekokonaisuudet jaetaan kah-

teen ryhmään. Tämä tehdään suunnittelua, valmistusta ja vaatimustenmukaisuuden arviointia varten. (5, s. 5)

Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat laitteet ja kokonaisuudet, jotka noudattavat olennaisia turvallisuusvaatimuksia, on luokiteltu kasvavan riskin mukaan luokkiin I-IV. Olennaisen turvallisuusvaatimusten piiriin kuuluvat muun muassa painelaitteen suunnittelu, valmistus, käytettävät materiaalit. (5, s. 5; 5, s. 8)

Toiseen ryhmään kuuluvat laitteet ja kokonaisuudet, joiden valmistuksessa ja suunnittelussa käytetään hyvää konepajakäytäntöä. Painelaitteiden luokitusta varten pitää tietää painelaitteen tyyppi, suurin sallittu käyttöpaine ja tilavuus tai nimellisuuruus tapauksesta riippuen sekä se luokitellaanko sisältö kaasuksi vai nesteeksi ja sisällön vaarallisuus. (5, s. 5)

Paineastioiden luokitukset tehdään vaatimuksenmukaisuuden arviointikuvien perusteella (KTMp 938/1999 liite II). (5, s. 5)

2.5 Valvonta

Räjähdyksivaarallisten kohteiden valvonta kuuluu työsuojeluviranomaisille osana työturvallisuuslainsäädännön valvontaa. Jos laitoksessa tapahtuva vaarallisten kemikaalien käyttö on laajamittaista, niin räjähdysvaarallisten tilojen valvonta kuuluu Tukesille. Tukes myös valvoo näissä kohteissa pölyräjähdysten torjuntaa. Vaarallisten kemikaalien vähäistä käyttöä valvovat puolestaan pelastusviranomaiset. (2, s. 2)

Painelaitteiden markkina- ja niiden käytön turvallisuuden valvonta kuuluu Turvatekniikan keskukselle. (5, s. 3)

2.6 ATEX-merkinnät

ATEX-merkinnät eroavat toisistaan kun kyseessä on Ex-tila tai Ex-laite.

2.6.1 Ex-tila

Direktiivin 99/92/EY mukaisten Ex-tilojen sisäänkäynneissä tulee olla kelta-musta varoituskolmio, jonka sisällä lukee EX, jos siellä saattaa esiintyä vaarallista räjähdyskelpoista ilmaseosta niin paljon, että työntekijöiden turvallisuus ja terveys on vaarassa. Varoituskolmiossa keltaisen värin osuuden tulee olla vähintään 50 % merkin pinta-alasta. Kuvassa 1 on esitetty varoituskolmio. Mikäli kuitenkin koko tila ei ole räjähdysvaarallinen tila, vaan ainoastaan osa siitä, voidaan kyseinen alue merkitä esimerkiksi laittamalla lattiaan keltamusta viivoitus kuvaamaan Ex-tilaa. (2, s. 16; 10, s. 42)

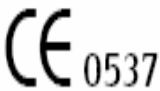


Työnantajan on tiedotettava työntekijöille varoitusmerkeistä sekä niiden merkityksestä. (10, s. 42)



Kuva 1. Esimerkki Ex-tilan merkinnästä.

2.6.2 Ex-laite

Ex-laitteessa tulee olla valmistajan nimi ja osoite, CE-merkintä, sarja- tai tyyppimerkintä, mahdollinen sarjanumero, valmistusvuosi ja tuotannon laadunvarmistukseen osallistuvan ilmoitetun laitoksen tunnusnumero. Näiden lisäksi tulevat Ex-merkintä, laitteiden ryhmän ja luokan tunnus ja laiteryhmän II laitteille palava aine merkitään kirjaimella, joka on G kaasuille ja nesteille tai D pölyille. Näiden lisäksi laitteessa tulee olla muut turvallisen käytön kannalta tarpeelliset merkinnät. Kuvassa 2 on esimerkkejä Ex-laitteiden pakollisista merkinnöistä selityksineen. (2, s. 8; 3, s. 10-11; 4, s. 3; 12; 13)

	 II 2 G	EEx d IIC T3
CE-merkintä ja tuotannon laadunvarmistukseen osallistuvan ilmoitetun laitoksen (NB) tunnusnumero	 = EY:n räjähdysuojaustunnus II = laiteryhmä 2 = laiteluokka palava aine: G = kaasu tai neste D = pöly	E = EN-standardin mukainen Ex = räjähdysuojaustunnus d = Ex-rakenne II = räjähdysryhmä I, IIA, IIB tai IIC T = Lämpötilaluokka T1... T6

Kuva 2. Esimerkkejä laitteiden Ex-merkinnöistä ja niiden selitykset.

3 Luokitukset ja laitevalinnat

3.1 Tilaluokat

Ex-tilan tilaluokka määrittää tarvittavat suojatoimenpiteet. Tilaluokan puolestaan määrittää räjähdysriskin ilmaseoksen esiintymistodennäköisyys, esiintymisen kesto ja tiheys. Tilaluokat 0, 1 ja 2 ovat tarkoitettu tiloille, joissa räjähdysvaaran aiheuttavat palavat nesteet ja kaasut, kun taas tilaluokat 20, 21 ja 22 on tarkoitettu tiloille, joissa räjähdysvaaran aiheuttaa pöly. Näiden tilaluokkien ulkopuolelle jääviä luokkia kutsutaan räjähdysvaarattomiksi tiloiksi. (2, s.11; 9, s. 24)

3.1.1 Tilaluokitustarve

Tilaluokitus pitää tehdä, jos nesteen leimahduspiste on alle 30 °C tai nesteen tai sen välittömän ympäristön lämpötila on alle viisi astetta nesteen leimahduspisteestä. Luokitus tarvitaan, jos palavaa nestettä sumutetaan ilmaan tai jos käytetään suuria määriä puristettuja palavia kaasuja. Tilaluokitus tarvitaan myös, jos jostain muusta kuin edellä mainituista syistä katsotaan olevan huomattavaa vaaraa. (6, s. 8; 14)

3.1.2 Tilaluokat kaasuilla ja nesteillä

Tilaluokka 0

Tilaluokan 0 tilassa räjähdyskelpoinen kaasu-ilmaseos on läsnä jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai useasti. (2, s.11; 13; 14)

Tilaluokka 1

Tilaluokan 1 tilassa räjähdyskelpoinen kaasu-ilmaseos on normaalioloissa läsnä satunnaisesti. (2, s.11; 13; 14)

Tilaluokka 2

Tilaluokan 2 tilassa räjähdyskelvoinen kaasu-ilmaseos ei normaalioloissa todennäköisesti ole läsnä. Mikäli räjähdyskelvoinen kaasu-ilmaseos on läsnä, niin sen läsnäolon kesto on lyhytaikainen. (2, s.11; 13; 14)

3.1.3 Tilaluokat pölyillä

Tilaluokka 20

Tilaluokan 20 tilassa räjähdyskelvoinen pöly-ilmaseos on läsnä jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai useasti. (2, s.11; 13; 14)

Tilaluokka 21

Tilaluokan 21 tilassa räjähdyskelvoinen pöly-ilmaseos on normaalioloissa läsnä satunnaisesti. (2, s.11; 13; 14)

Tilaluokka 22

Tilaluokan 22 tilassa räjähdyskelvoinen pöly-ilmaseos ei todennäköisesti normaalioloissa ole läsnä. Jos räjähdyskelvoinen pöly-ilmaseos on läsnä, niin sen läsnäolon kesto on lyhytaikainen. (2, s.11; 13; 14)

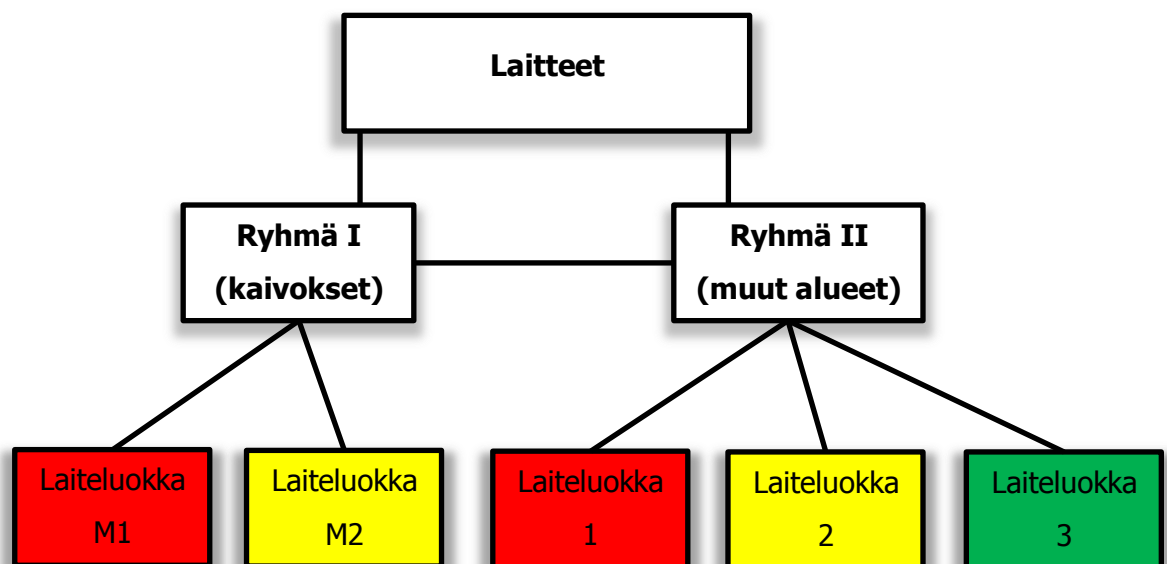
3.2 Laiteluokat

Laiteluokka kertoo, mihin Ex-tilaluokkaan laite on sopiva. Luokka määräytyy sen mukaan, missä tilaluokassa laitetta käytetään tai minkä tilaluokan kanssa laitteella on kosketuspinta. Laiteluokat on jaettu ryhmiin I ja II. Laiteluokkien numeron perään merkitään kirjain G, jos kyseinen laite on tarkoitettu tilaan, jossa palava aine on kaasu tai neste. Mikäli numeron perässä on kirjain D, laite on tarkoitettu tilaan, jossa palava aine on pöly. (2, s. 8; 3, s. 3; 4, s. 2-3; 12)

Ryhmän I laitteet ovat kaivoslaitteita tai laitteita, joita käytetään kaivosten maanpäällisissä osissa. Tämän ryhmän laitteita käytetään paikoissa, joissa räjähdysvaara johtuu kaivoskaasusta ja/tai tulenarasta pölystä. Koska Suomessa ei ole kaivoksia, joissa esiintyy kaivoskaasua tai hiilipölyä, ovat ryhmän I laitteet meillä hyvin harvinaisia. (2, s.8; 3, s.3; 12)

Ryhmän II laitteet on tarkoitettu käytettäväksi muissa paikoissa, joissa saattaa syntyä räjähdyskelpoinen ilmaseos. (2, s.8; 3, s. 3; 12)

Laiteryhmät I ja II jakautuvat edelleen laiteluokkiin, jotka määrittävät laitteen turvallisuustason. Ryhmä I on jaettu luokkiin M1 ja M2. Ryhmä II on jaettu luokkiin 1, 2 ja 3. Laiteryhmät on jaoteltu kuvassa 3. Laiteluokissa turvallisuusvaatimus on tiukimmillaan luokissa 1 ja M1. Vaatimukset löystyvät luokan numeron kasvaessa. (2, s.8; 12)



Kuva 3. Laiteryhmät ja laiteluokat.

3.2.1 Ryhmä I

Laiteluokka M1

Laiteluokan M1 laitteiden tulee pysyä toiminnassa tarvittaessa lisäsuojakeinojen avulla myös räjähdyskelpoisten ilmaseosten ollessa läsnä. M1-luokan laitteiden turvallisuustaso on hyvin korkea. Laitteessa tulee olla joko kaksi itsenäistä suojavälinettä tai sen tulee olla turvallinen myös kahden erillisen vian tapahtuessa. (3, s. 8; 12)

Laiteluokka M2

Laiteluokan M2 laitteista tulee virran katketa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen ollessa läsnä. M2-luokan laitteiden turvallisuustaso on korkea valmistajan ilmoittamilla toiminta-arvoilla myös yhden vian aikana. (3, s. 8; 12)

3.2.2 Ryhmä II

Laiteluokka 1

Laiteluokan 1 laitteet on tarkoitettu tiloihin, joissa räjähtävä ilmaseos on läsnä hyvin suurella todennäköisyydellä joko jatkuvasti, kauan tai toistuvasti. Laiteluokan 1 laitteiden turvallisuustaso on hyvin korkea valmistajan ilmoittamilla toiminta-arvoilla. Laitteessa tulee olla joko kaksi itsenäistä suojavälinettä tai sen tulee olla turvallinen myös kahden erillisen vian tapahtuessa yhtä aikaan. (3, s. 8; 12)

Laiteluokka 2

Laiteluokan 2 laitteiden turvallisuustaso on korkea valmistajan ilmoittamilla toiminta-arvoilla myös yhden vian ja häiriön aikana. Laiteluokan 2 laitteet sijoitetaan paikkaan, jossa räjähdyskelpoisia ilmaseoksia esiintyy todennäköisesti. (3, s. 9; 12)

Laiteluokka 3

Laiteluokan 3 laitteiden turvallisuustaso on normaali valmistajan ilmoittamilla toiminta-arvoilla. Laiteluokan 3 laitteet sijoitetaan paikkaan, jossa räjähdyskelpoisten ilmaseoksien esiintyminen on epätodennäköistä. (3, s. 9; 12)

3.3 Laitteiden valitseminen

Laitteiden valinnasta vastaa pääasiassa työnantaja, mutta myös laitteistojen suunnittelijat ja rakentajat tekevät laitevalintoja tilaluokitusten, räjähdysvaaraa aiheuttavien aineiden ominaisuuksien ja muiden tietojen perusteella. (2, s. 11)

Valittaessa sähkölaitetta räjähdysvaaralliseen tilaan tulee tietää tilojen tilaluokitus. Tarvittaessa tulee tietää myös kaasujen, höyryjen tai pölyjen luokitus sekä sähkölaitteiden räjähdysryhmät sekä lämpötilaluokka tai mahdollisen kaasun tai höyryn syttymislämpötila. Pölyille tulisi tietää tarvittaessa pölypilven minimisyttymislämpötila ja syttymisenergia sekä pinnoilla olevan pölykerroksen minimisyttymislämpötila. Lisäksi tarvitaan tiedot myös ulkoisista olosuhteista ja ympäristön lämpötilasta. (2, s.11; 8, s. 25)

Taulukosta 1 käy selville, minkä laiteluokan laite soveltuu mihinkin tilaluokkaan. Taulukosta 2 selviää räjähdysryhmien mukainen sähkölaiteluokittelu. Kaasuilla ja höyryillä luokittelu tapahtuu aineen rajarakoleveyden ja vähimmäissytytysvirran mukaan kolmeen ryhmään, jotka löytyvät taulukosta 2. (8, s. 27)

Taulukko 1. Laiteluokkien ja tilaluokkien yhteensopivuus.

Tilaluokka	Laiteluokka
0	1 G
1	1 G, 2 G
2	1 G, 2 G, 3 G
20	1 D
21	1 D, 2 D
22	1 D, 2 D, 3 D

Jos sähkölaite on tarkoitettu tietylle kaasulle tai höyrylle, sitä ei saa käyttää muilla kaasuilla tai höyryillä ilman täydellistä arviointia, joka osoittaa laitteen sopivan sellaiseen käyttöön. (8, s. 27)

Taulukko 2. Kaasujen/höyryjen tai pölyjen räjähdysryhmien ja laiteryhmien yhteensopivuus.

Sijoituspaikan kaasun/höyryn tai pölyn räjähdysryhmä	Sallittu laiteryhmä
IIA	II, IIA, IIB tai IIC
IIB	II, IIB, IIC
IIC	II tai IIC
IIIA	IIIA, IIIB tai IIIC
IIIB	IIIB tai IIIC
IIIC	IIIC

Kun laitevalinta tehdään kaasun, höyryn tai pölyn syttymislämpötilan ja ympäristölämpötilan mukaan, tulee huomioida, että laitteen korkein pintalämpötila ei nouse laitteen vaikutuspiirissä olevan kaasun, höyryn tai pölyn syttymislämpötilaan asti. (2, s. 11; 8, s. 28)

Taulukosta 3 käy ilmi kaasun ja höyryn syttymislämpötilan mukainen lämpötilaluokka sekä sähkölaitteiden lämpötilaluokat, jotka käyvät kunkin tilaluokituksen edellyttämään lämpötilaluokkaan. (8, s. 28)

Taulukko 3. Lämpötilaluokkien, pintalämpötilojen ja syttymislämpötilojen välinen yhteys.

Tilaluokituksen edellyttämä lämpötilaluokka	Kaasun tai höyryn syttymislämpötila °C	Sähkölaitteiden sallitut lämpötilaluokat
T1	>450	T1-T6
T2	>300	T2-T6
T3	>200	T3-T6
T4	>135	T4-T6
T5	>100	T5-T6
T6	>85	T6

Laitetta saa käyttää vain lämpötila-alueella -20 °C – +40 °C, mikäli sähkölaitteen käyttölämpötila-alueella ei ole erikseen merkitty. Jos laitteen käyttölämpötila-alue on merkitty, on se suunniteltu käytettäväksi tällä alueella. Jos laitteen ympäristön lämpötila on sallitun lämpötila-alueen ulkopuolella tai on olemassa muista syistä johtuvia lämpötilavaikutuksia, jotka johtuvat esimerkiksi itse prosessista, tulee huomioida niiden vaikutus ja varotoimet, jotka on tehty dokumentoida. (8, s. 28)

4 Riskit ja toimenpiteet vahinkojen minimoimiseksi

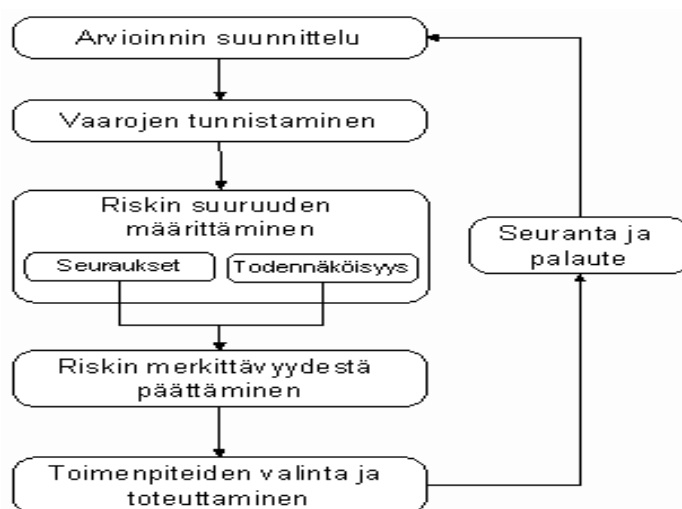
4.1 Riskin arviointi

Riskien arvioinnilla tarkoitetaan työssä esiintyvien vaarojen ja kuormitustekijöiden tunnistamista, vaarojen aiheuttamien riskien suuruuden määrittämistä ja riskien merkityksen arviointia. Riskien arviointi on ennakoivaa työsuojelua. Riskien arviointi on systemaattinen prosessi, jolla työympäristö pyritään tekemään turvalliseksi. Työympäristöä on tarkkailtava ja vaaratilanteet selvitettävä asianmukaisesti. Riskin arvioinnin tarkoitus on etsiä syitä, ei syyllisiä. (2, s. 6; 22; 23; 24)

Riskin arviointi ryhmän jäsenillä on tärkeää olla kokemusta ja osaamista arvioitavan kohteen työprosessin eri osa-alueilta. Mukana olisi hyvä olla myös henkilö, jolla on valtuudet päättää arvioinnin tuloksien aiheuttamista toimenpiteistä. Arvioitavan kohteen olisi oltava sopivan kokoinen, selkeä kokonaisuus. (24)

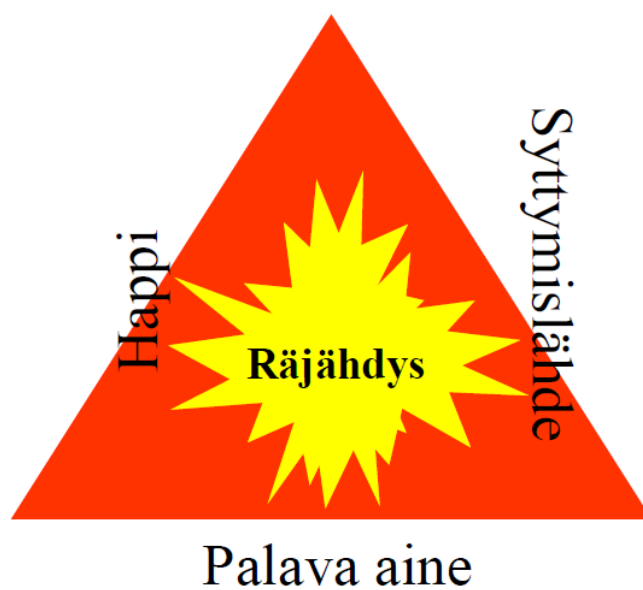
4.2 Riskin arvioinnin perusvaiheet

Jokaiselle tilanteelle tulee suorittaa riskin arviointi standardin EN ISO 14121-1 mukaisesti. (7, s. 16)



Kuva 4. Riskin arvioinnin vaiheet.

Ensimmäinen vaihe on vaaran tunnistaminen eli se, ovatko käsiteltävät aineet palavia ja kuinka helposti ne voivat syttyä. Toisena vaiheena on määrittää todennäköisyys sille, että räjähdyskelpoinen ilmaseos voi muodostua. Kolmannessa vaiheessa määritetään räjähdyskelpoisen ilmaseoksen sytyttämään kykenevien syttymislähteiden olemassaolo ja todennäköisyys. Kuvasta 5 nähdään räjähdykseen tarvittavat tekijät. Seuraavana määritetään mahdollisen räjähdysvaikutukset. Viimeisenä arvioidaan riskin merkitys ja tarvittavat toimenpiteet riskien pienentämiseksi. Tämän jälkeen riskin arvioinnissa lähdetään alusta ja tehdään uusi arviointi, jos siihen on tarve. Riskin arvioinnin vaiheet on esitetty kuvassa 4. (2, s.6; 7, s. 16)



Kuva 5. Räjähdykseen tarvitaan happea, palavaa ainetta sekä syttymislähde.

4.3 Syttymislähteet

Syttymislähteet luokitellaan seuraavasti:

- syttymislähteet, jotka voivat esiintyä jatkuvasti tai toistuvasti
- syttymislähteet, jotka voivat esiintyä harvinaisissa tapauksissa
- syttymislähteet, jotka voivat esiintyä hyvin harvinaisissa tapauksissa.

Seuraavassa esiteltävää luokittelua pidetään vastaavana edellä esitetyn luokittelun kanssa, kun kyseessä on käytettävät laitteet, suojausjärjestelmät ja komponentit (7, s. 18-19):

- syttymislähteet, jotka voivat esiintyä normaalitoiminnan aikana
- syttymislähteet, jotka voivat esiintyä vain virhetoimintojen seurauksena
- syttymislähteet, jotka voivat esiintyä vain harvinaisten virhetoimintojen seurauksena.

Syttymislähteet luokitellaan eurooppalaisen normin EN 1127-1 mukaisesti kolmeentoista eri tyyppiin (2, s. 10; 7, s.20-28 ;10, s. 24):

- kuumat pinnat
- liekit ja kuumat kaasut
- mekaanisesti syntyvät kipinät
- sähkölaitteet
- sähköiset tasausvirrat, katodinen korroosiosuoja
- staattinen sähkö
- salamanisku
- sähkömagneettiset kentät taajuusalueella 9 kHz – 300 GHz
- sähkömagneettinen säteily taajuusalueella 300 GHz – 3×10^6 GHz tai aallonpituuksilla 1 000 μm – 0,1 μm (optinen spektrialue)
- ionisoiva säteily
- ultraääni
- adiabaattinen puristus, paineaallot, virtaavat kaasut
- kemialliset reaktiot

Käytännön toiminnan kannalta erityisen merkittäviä syttymislähdetyyppejä ovat vain kuumat pinnat, liekit ja kuumat kaasut, mekaanisesti syntyvät kipinät, sähkölaitteet, staattinen sähkö ja kemialliset reaktiot. (10, s.24)

4.3.1 Kuumat pinnat

Jos pinnan lämpötila on vähintään sama kuin räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttymislämpötila, niin se voi syttyä kosketuksesta kuumaan pintaan. (7, s.20; 10, s. 25)

Kuuman pinnan kyky sytyttää räjähdyskelpoinen ilmaseos riippuu ilmaseoksen tyypistä ja pitoisuudesta. Kasvattamalla pinta-alaa sekä lämpötilaa myös syttymiskyky kasvaa. (7, s. 20)

Mikäli räjähdyskelpoinen ilmaseos voi joutua suoraan kosketusyhteyteen kuuman pinnan kanssa, pitää varmistaa riittävä turvaväli pinnan maksimilämpötilan ja ilmaseoksen syttymislämpötilan välille. (10, s.25)

4.3.2 Liekit ja kuumat kaasut

Liekit liittyvät yli 1 000 °C lämpötiloissa tapahtuviin palamisreaktioihin, joiden reaktiotuotteina on kuumia kaasuja. Jos liekit sisältävät pölyä ja nokea, syntyy silloin myös hehkuvia kiinteitä hiukkasia. Jopa hyvin pienet liekit kuuluvat tehokkaimpiin syttymislähteisiin. Liekkien lisäksi myös kytevät hiukkaset voivat sytyttää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. (7, s. 20; 10, s. 25)

Yleisesti tilaluokissa 0 ja 20 ei saa esiintyä liekkejä. Muissa ATEX-tilaluokissa liekkejä saa esiintyä vain turvallisesti eristettynä. (10, s. 25)

4.3.3 Mekaanisesti syntyvät kipinät

Esimerkiksi kitka, isku ja hankaus voivat aiheuttaa mekaanisesti syntyviä kipinöitä, jotka saattavat sytyttää palavan ilmaseoksen. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi isku saattaa irrottaa hiukkasia, jotka saattavat olla riittävästi kuumentuneita sytyttämään palavan ilmaseoksen, varsinkin jos irronnut hiukkanen on hapettuvaa ainetta. Tällöin se saattaa hapettua ja kuumentua entisestään. (7, s. 22; 10, s. 25)

Vieraiden esineiden joutuminen laitteiston sisään tulee ottaa huomioon, koska se saattaa aiheuttaa kipinöitä. Kipinöiden syntymistä voidaan estää laitteiston materiaalivalinnoilla. (7, s. 22; 10, s. 25)

4.3.4 Sähkölaitteet

Suojaamattomissa sähkölaitteissa pienetkin jännitteet voivat aiheuttaa kipinöitä, jotka voivat sytyttää palavan kaasun. Kipinöitä saattaa syntyä esimerkiksi avattaessa tai suljettaessa sähköisiä piirejä, löysistä liitoksista tai harhavirroista. Harhavirtoja saattaa esiintyä järjestelmissä, joissa tehoa tuotetaan paluuvirtoina. Niiden esiintyminen johtuu oikosuluista, maasuluista, magneettisista induktioista tai salamasta. Tämän takia räjähdysvaarallisissa tiloissa tulisi käyttää siihen tilaan tarkoitettuja Ex-merkittyjä laitteita. (7, s. 22; 10, s. 26)

4.3.5 Staattinen sähkö

Staattinen sähkö voi sopivissa olosuhteissa synnyttää kipinän, joka voi sytyttää palavan kaasun. Kipinä voi syntyä helposti, kun varautuneet, eristetyt ja johtavat osat purkautuvat. Purkaukset ovat mahdollisia myös johtamattomilla materiaaleilla sekä yhdistettäessä johtavia ja johtamattomia materiaaleja keskenään. Neljä tavallisinta purkausmuotoa ovat kipinäpurkaukset, koronapurkaukset, liukupurkaukset ja katokeilapurkaukset. (7, s. 24; 10, s. 26-27)

4.3.6 Kemialliset reaktiot

Eksotermisessä reaktiossa aineet voivat kuumentua riittävästi muodostaen syttymislähteen. Reagoivien aineiden ohella laitteiston tilavuuden ja pinta-alan suhteesta, ympäristön lämpötilasta sekä viipymisajasta riippuu, saavuttaako reaktio riittävän korkean lämpötilan muodostamaan syttymislähteen. Reaktion yhteydessä voi myös muodostua palavaa kaasua, joka voi ilman kanssa muodostaa räjähdyskelpoisen seoksen lisäten koko systeemin vaarallisuutta. (7, s. 28; 10, s. 26)

Itsesyttyviä aineita tulisi pyrkiä välttämään kaikkialla. Jos niitä kuitenkin käytetään, tulee tällöin ottaa huomioon suojatoimenpiteet tapauskohtaisesti. (10, s. 26)

4.4 Räjähdyssuojaustoimenpiteet

Räjähdyssuojaustoimenpiteinä voidaan pitää kaikkia niitä toimia, joilla vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten syntyminen estetään ja syttyminen vältetään. Näiden toimenpiteiden lisäksi räjähdyssuojaustoimenpide on myös mahdollisten räjähdysten vaikutusten minimointi, siten että työntekijöiden turvallisuus ja terveys on varmistettu. (10, s. 15)

4.4.1 Palavien aineiden korvaaminen

Vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten syntymistä voidaan estää vähentämällä tai korvaamalla kokonaan palavien aineiden käyttöä palamattomilla aineilla, kuten korvaamalla palavat liuottimet vesipohjaisilla. Pölyn tapauksessa raekoon isontaminen tai pölyn kostuttaminen toimii palavien aineiden korvaamisena. Palavan aineen määrä saadaan mahdollisimman pieneksi esimerkiksi käyttämällä jatkuvatoimista prosessia panosprosessin sijasta. (2, s. 10; 7, s. 30; 10, s. 16)

4.4.2 Räjähdyksrajojen ulkopuolella pysytteleminen

Mikäli palavien aineiden korvaamiseen ei pystytä, tulisi pyrkiä pysyttelemään palavien aineiden räjähdysrajojen ulkopuolella. Tämä tapahtuu toimenpiteillä, joilla hallitaan palavien aineiden pitoisuutta ja/tai määrää. Tällöin räjähdysvaaraa ei pitäisi päästä syntymään. Aina pitäisi kuitenkin ottaa huomioon se, että pitoisuudet saattavat prosessin käynnistytksen ja sammuttamisen yhteydessä siirtyä räjähdysalueelle. (2, s. 10; 7, s. 30; 10, s. 16)

Pölypitoisuutta rajoittamalla on varsin hankalaa estää räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syntyminen. Tämä johtuu siitä, että ilman ja pölyn seokset ovat yleensä epähomogeenisia. (7, s. 32)

4.4.3 Inertointi

Laitteiston sisätilojen inertointi ehkäisee laitteistossa käytettävien palavien aineiden reagointia laitteistossa mahdollisesti olevan hapen kanssa ehkäisten räjähdysvaaran. Inertointi voidaan suorittaa reagoimattomalla kaasulla kuten typellä, vesihöyryllä tai reagoimattomalla jauhemaisella aineella kuten kalsiumkarbonaatilla. Jos inertointikaasua pääsee laitteiston ulkopuolelle, voi ilman happipitoisuuden väheneminen aiheuttaa työntekijöille tukehtumisvaaran. (2, s. 10; 7, s. 32; 10, s. 16-17)

4.4.4 Laitteiston tiiveys ja ilmanvaihto

Laitteiston ulkopuolella syntyvä räjähdysvaarallinen ilmaseos tulisi mahdollisuuksien mukaan estää varmistamalla laitteiston tiiveys. Tämä tulisi ottaa huomioon jo laitteiston suunnitteluvaiheessa. Mikäli laitteisto ei ole riittävän tiivis ja palavat aineet pääsevät laitteiston ulkopuolelle, tulee tällöin ottaa huomioon laitteiston ympäristön ilmanvaihto, jonka pitää olla riittävä. Ilmanvaihdon riittävyys arvioinnissa tulee huomioida kaasujen suurin mahdollinen määrä sekä niiden lähteiden sijainti ja niiden leviämisolosuhteet. Ilmanvaihto mahdollistaa pölyjen osalta yleensä riittävän suojan ainoastaan silloin, jos pöly imetään pois jo sen syntymispaikassa. Samalla myös varmistetaan, ettei synny vaarallisia pölykertymiä.

Parhaassa tapauksessa riittävän tehokas ilmanvaihto pystyy estämään räjähdysvaarallisten tilojen syntymisen, mutta tietyt olosuhteet saattavat aiheuttaa sen, että tehokas tuuletus riittää ainoastaan pienentämään vaarallisten räjähdyskelpoisten ilmaseosten esiintymistodennäköisyyttä tai se vain pienentää räjähdysvaarallisten alueiden kokoa. Tämä riippuu ilmanvaihdon määrän suhteesta mahdollisiin päästömääriin. Mikäli riittävää ilmanvaihtoa ei kyetä tilaan järjestämään, saattaa koko huoneesta syntyä räjähdysvaarallinen tila. (6, s. 17; 7, s. 34; 9, s. 30; 10, s. 17–18)

Kaasuseoksien poistamiseen käytettävä ilmanvaihto on joko koneellinen tai luonnollinen. (6, s. 17; 9, s. 30)

Koneellista ilmanvaihtoa tulee käyttää aina, kun luonnollisella ilmanvaihdolla ei saada aikaan tilaa, jossa ei esiinny räjähdyskelpoisia ilmaseoksia. Ilmanvaihdon tulee olla ko-

neellinen myös silloin kun räjähdysvaarallisessa tilassa vallitsee alipaine ympäröivään tilaan nähden. (6, s. 17)

Ilmanpoisto tulisi järjestää kohdepoistona ennen päästön leviämistä. Poistokanava tulisi järjestää omana kanavana ulos. Poistokanavan tilaluokka on yleensä sama kuin poistokohteena olevan tilan tilaluokka. Kaasutiiviillä ilmanvaihtorakenteella saadaan pienennettyä kokonaisilmanvaihtoa. (6, s. 18)

4.4.5 Kaasuilmaisin

Laitteiston ympäristössä ilmenevien kaasupitoisuuksien valvomiseen voidaan käyttää kaasuilmaisimia. Käytettäessä kaasuilmaisimia tulee tietää, mitä kaasuja tiloissa voi esiintyä ja kyseisten kaasujen ominaisuudet, jotta osataan valita sopiva ilmaisin. Pitää myös tietää kaasujen lähteiden sijainnit, mitkä ovat niiden suurimmat mahdolliset lähdepitoisuudet sekä millaiset ovat leviämisolosuhteet, jotta ilmaisin osataan sijoittaa oikeaan paikkaan. (2, s. 10; 10, s. 19–20)

Käyttöön otettavissa kaasuilmaisimissa on oltava direktiivin 94/7/EY mukaiset merkinnot siitä, että ne on hyväksytty räjähdysvaarallisiin tiloihin tarkoitetuiksi turvallisiksi sähkölaitteiksi. Kaasuilmaisimien toiminta on tarkastettava asiantuntijan toimesta käyttöönoton jälkeen ja tämän jälkeen säännöllisesti. (10, s. 20; 10, s. 41)

4.5 Syttymisen estäminen

Vaarallisen räjähdyskelpoisen ilmaseoksen syttyminen on estettävä, jos sen syntymistä ei voida estää. Mikäli vaarallisen ilmaseoksen syntymistä ei pystytä estämään, tulee käyttää suojatoimenpiteitä, joilla estetään syttymislähteiden esiintyminen tai rajoitetaan niiden esiintymisen todennäköisyyttä. Kun valitaan suojatoimenpiteitä, niin pitää arvioida, kuinka usein räjähdyskelpoinen kaasuseos ja syttymislähde voivat esiintyä samaan aikaan samassa tilassa. Yleensä ratkaisua haetaan tilaluokituksella ja laitevalinnoilla. (2, s. 10; 7, s. 30)

Ensisijainen toimenpide syttymisen estämiseksi on välttää räjähdyskelpoisia kaasuseoksia. (7, s. 30)

4.6 Räjähdyksen vaikutuksen rajaaminen

Räjähdyssuojatoimenpiteitä ei usein pystytä toteuttamaan riittävässä määrin, jotta räjähdyskelpoista ilmaseosta ja syttymislähteitä ei syntyisi. Tällöin tehtävänä on rajoittaa mahdollisen räjähdysvaikutus hyväksyttävälle tasolle. (2, s. 10; 10, s.28)

Räjähdyksen vaikutuksia voidaan rajoittaa rakennustavalla, joka kestää räjähdysvaikutuksen ja estää liekkien ja räjähdysvaikutuksen leviämisen. Muita toimia vaikutusten rajaamiseksi on räjähdyspaineen alentaminen ja itse räjähdysvaikutuksen vaimentaminen. Näillä toimenpiteillä pystytään yleensä rajoittamaan laitteiden sisällä tapahtuvien räjähdysten vaikutuksia. Valittaessa rakenteellisia suojatoimenpiteitä yleensä otetaan käyttöön laitteita ja suoja-järjestelmiä, jotka täyttävät KTMP:n (918/1996) vaatimukset. (2, s.10; 10, s.28,)

Räjähdyksenkestävään rakennustapaan kuuluu, että laitteiston osat eivät repeä eivätkä murru sisältäpäin tapahtuvan räjähdysvaikutuksen sattuessa. Räjähdyksenkestävät rakenteet on jaettu räjähdysvaikutuksen aiheuttaman paineen kestävään ja räjähdysvaikutuksen aiheuttaman paineaallon kestäviin rakennustapoihin. (7, s.53; 10, s. 28)

Rakenteet, jotka ovat räjähdyspaineenkestäviä, eivät muuta pysyvästi muotoaan odotettavan räjähdyspaineen voimasta. (7, s. 54; 10, s. 29)

Paineaallon kestävät rakenteet kestävät sisällä tapahtuvasta räjähdysvaikutuksesta syntyvän paineaallon, joka ei ole suurempi kuin odotettavissa oleva räjähdyspaine. Tällaisten rakenteiden muoto saattaa muuttua pysyvästi räjähdysvaikutuksen voimasta. Mikäli rakenne muuttaa muotoaan, on sen kunto tarkistettava räjähdysvaikutuksen jälkeen. (7, s. 54; 10, s. 29)

Räjähdysspaineen keventäminen on menetelmä, jolla voidaan rajata räjähdysvaikutusta. Se perustuu räjähdyspaineen alentamiseen poistamalla palokaasuja sekä palanutta ja palamatonta seosta. Paineen alennus tapahtuu käyttämällä riittävän suuria aukkoja, että ylipaine poistuu ilman laitteiden, suojausjärjestelmien ja komponenttien tuhoutumista. Räjähdysspaineen keventämiseen voidaan käyttää murtolevyjä, paineenpurkausluukkuja tai räjähdysovia. Varoventtiilejä ei kuitenkaan voida käyttää räjähdyspaineen keventämiseen. Käytettäessä räjähdyspaineen alentamislaitteistoja tulee tällöin ottaa huomioon suunta, johon paine vapautuu, koska paineen vapautumissuuntaan

vapautuvat liekit ja paine voivat aiheuttaa huomattavia vahinkoja. (7, s. 56; 10, s. 29–30)

Räjähdyksen leviämisen estäminen on mahdollista toteuttaa käyttämällä aktiivisia ja passiivisia laitteita ja järjestelmiä estämään räjähdysten eteneminen esimerkiksi putkistoja, huohotinlaitteita tai täyttö- tai tyhjennyslinjoja pitkin. (7, s. 58; 10, s. 30)

Passiivisia järjestelmiä ovat erinäköiset liekkiä läpäisemättömät rakennelmat kuten liekinpysäytin ja nestelukko. Niiden toimintamekanismi perustuu pääasiassa liekkien sammuttamiseen kapeikoissa ja kanavissa, liekkirintaman pysäyttämiseen palamattoman seoksen riittävän voimakkaan ulosvirtauksen avulla tai liekkirintaman pysäyttämiseen nestemäisillä esteillä. Passiivisia järjestelmiä käytetään yleensä kaasujen, höyryjen tai sumujen ja ilman seosten kanssa, koska niiden räjähtäessä aktiiviset sulkemiset tai sammutusjärjestelmät ovat liian hitaita mahdollisen räjähdysten leviämisenopeudelle. Usein passiivinen järjestelmä perustuu kuitenkin useampaan kuin yhteen mekanismiin. Liekkejä läpäisemättömät mekanismit on jaoteltu räjähdysten kestäviin, pitkäaikaisen palon kestäviin ja räjähdysten kestäviin suoja mekanismeihin. Näistä jatkuvaa paloa kestäemättömät suoja mekanismit eivät kestä paloa kuin rajallisen ajan. Tämän jälkeen niiden liekkiä läpäisemättömät ominaisuudet ovat menettäneet tehonsa. (7, s. 58; 10, s. 30–31)

Pölyjen kanssa toimittaessa ei voida käyttää tiettyjä kaasujen, höyryjen ja sumujen kanssa käytettäviä liekkejä läpäisemättömistä rakenteista, koska ne saattavat mennä tukkoon. (7, s. 60; 10, s. 32)

5 Räjähdyssuojausasiakirja

Räjähdyssuojausasiakirjan laatiminen kuuluu direktiivin 99/92/EY 4 artiklassa säädettyihin velvoitteisiin, joita työnantajan tulee noudattaa. Asiakirja tulee laatia, ennen kuin tilat otetaan käyttöön. Räjähdyssuojausasiakirjan laatimisen takaraja oli 30.6.2006 kohteille, jotka oli otettu käyttöön ennen 1.9.2003. (2, s. 18; 10, s. 45; 11)

Räjähdyssuojausasiakirjasta tulee käydä ilmi mahdolliset räjähdysriskit ja niiden arviointi. Siitä tulee myös käydä ilmi tilaluokitukset ja niiden asianmukainen merkitseminen. Lisäksi siitä pitää käydä ilmi niissä käytettävät laitteet ja kyseisten laitteiden sopivuus kyseisiin tiloihin. Ex-tiloista kuuluu olla asiakirjassa pohjapiirros, josta selviävät poistumistiet. (2, s. 18-19; 10, s. 45; 11)

Asiakirjasta tulee myös ilmetä, että itse työpaikka, siellä käytettävät työvälineet ja varolaitteet on suunniteltu siten, että turvallisuus on otettu huomioon työvälineiden ja varolaitteiden käytössä ja huollossa. Asiakirjasta tulee käydä ilmi räjähdysvaarojen kannalta tärkeitä tietoja kuten toimintojen kuvaus ja kuvaus aineista ja olosuhteista, jotka saattavat aiheuttaa räjähdyskelpoisen ilmaseoksen. (2, s. 19; 10, s. 45; 11)

Tärkeää on myös, että asiakirjasta selviävät räjähdysvaarallisten tiloista vastuussa olevat henkilöt ja kyseisissä tiloissa työskentelevien henkilöiden lukumäärä. Räjähdyssuojausasiakirjasta täytyy selvittää se henkilö, joka vastaa itse räjähdyssuojausasiakirjan ajan tasalla pitämisestä. (2, s. 19; 10, s. 45; 11)

Siinä pitää olla luetteloituna laitteet ja työvälineet, jotka ovat mahdollisia räjähdysten syttymislähteitä. Luetteloituna tulee olla myös laitteet ja työvälineet, jotka on tarkoitettu käytettäväksi useissa räjähdysvaarallisissa tiloissa. (2, s. 19; 10, s. 45; 11)

Räjähdyssuojausasiakirjassa oleva selvitys turvallisuustoimista, jotka on toteutettu, olisi syytä jakaa teknisiin ja organisatorisiin turvallisuustoimiin. Tekniseen osaan kuuluvat ennalta ehkäisevät toimenpiteet, rakenteelliset toimenpiteet ja prosessinohjaukseen liittyvät toimenpiteet. Organisatoriset toimenpiteet otetaan käyttöön, jos pelkät tekniset toimenpiteet eivät riitä takaamaan ja pitämään yllä räjähdyssuojausta työpaikalla. Organisatoriseen osioon kuuluu muun muassa kirjallisten toimintaohjeiden laatiminen ja työskentelylupajärjestelmän käyttö vaarallisissa tehtävissä. (2, s. 19; 10, s. 37)

Räjähdyssuojausasiakirjasta tulee käydä ilmi, että asianmukaiset suojaustoimenpiteet on huomioitu ja toteutettu direktiivien mukaisesti. Se myös tarjoaa kokonaisvaltaisen kuvan arvioinnin tuloksista ja käyttöön otetuista suojatoimenpiteistä sekä vastuuhenkilöistä. (2, s. 19; 10, s. 45; 11)

Räjähdyssuojausasiakirjaa pitää päivittää, täydentää ja tarkistaa, kun muutoksia tehdään työskentelytiloihin, työvälineisiin tai työjärjestelyihin. Räjähdyssuojausasiakirjan ei tarvitse olla yhtenäinen asiakirja, vaan siihen voidaan yhdistellä räjähdysvaaraa koskevia, jo olemassa olevia arviointeja, asiakirjoja tai muita vastaavia selvityksiä. Sitä ei toimiteta viranomaisille, mutta viranomainen haluaa nähdä sen suorittaessaan tarkastuksen kohteessa. (2, s. 18; 10, s. 45; 11)

6 Kaasut

Alla on eritelty painereaktorissa ja Fischer-Tropsch-laitteistossa käytettävät kaasut ja niiden ominaisuuksia.

6.1 Vety

Vety on hyvin helposti syttyvä kaasu, joka on väritön, hajuton ja myrkytön. Koska vety on ilmaa kevyempi kaasu, kohoaa se ylöspäin muodostaen syttyvän seoksen suljetun tilan yläosaan. Vedyn vuoto sisätiloissa aiheuttaa räjähdysvaaran. Vedyn ja ilman seoksen syttymisraja on 4 – 75 %. Vedyn itsesyttymislämpötila on noin 560 °C ja kiehumispiste on -253 °C. Jo 0,02 mJ:n energia on riittävä sytyttämään vedyn ja ilman seoksen. (15; 16)

Paineistetun vedyn vuoto itsessään voi olla niin voimakas, että siitä saattaa muodostua staattista varausta niin paljon, että se riittää sytyttämään vedyn palamaan. Vedyllä on voimakkaat reaktiot ilman, hapen, halogeenien ja vahvojen hapettimien kanssa. Vety syttyy helposti, jos se joutuu kosketuksiin kipinöiden, kuumien pintojen tai liekkien kanssa. Myös staattinen varaus sytyttää vedyn helposti palamaan. (15; 16)

Vetykaasu puhtaana ei ole myrkyllistä. Suljetussa tilassa suurina pitoisuuksina vety syrjäyttää hapen ja aiheuttaa ihmisille tukehtumisen. Happipitoisuuden laskiessa alle 18 %:n alkaa altistuneissa henkilöissä ilmetä hapenpuutteen oireita. (15)

6.2 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi muodostaa ilman kanssa erittäin helposti syttyvän kaasuseoksen. Se saattaa reagoida voimakkaasti hapen, asetyleenin, kloorin, fluorin ja typpioksiduulin kanssa ja aiheuttaa syttymisvaaran. Kaasu on hajuton, väritön, ilmaa hieman kevyempi ja erittäin helposti syttyvä. Ilman kanssa se muodostaa erittäin helposti syttyvän kaasuseoksen. Hiilimonoksidin itsesyttymispiste on 605 °C ja kiehumispiste on -191 °C, hiilimonoksidin ja ilman seoksen syttymisraja on 12,5–74 %. (16; 17)

Hajuttoman hiilimonoksidin vuotojen havaitsemiseksi tarvitaan kaasunilmaisimia ja kannettavia hälytinlaitteita, joita käytetään määrittämään vaara-alue. (17)

Ihmisissä hiilimonoksidi sitoutuu veren hemoglobiiniin estäen hapen sitoutumisen ja tämä aiheuttaa hapensaannin vähenemisen. Altistuminen hiilimonoksidille aiheuttaa kuoleman 10–45 minuutissa, pitoisuuden ollessa 1000–10000 ppm. (17)

6.3 Helium

Helium on inertti jalokaasu, joka on hajuton, mauton sekä väritön ilmaa kevyempi kaasu. Sen kiehumispiste on $-268,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. (16; 18)

Heliumkaasu sisään hengitettynä jää keuhkoihin, joissa se syrjäyttää hapen aiheuttaen pahimmillaan kuoleman. (18)

6.4 Typpi

Typpi on hajuton, väritön ja mauton, hieman ilmaa kevyempi kaasu. Nestemäinen typpi on hajutonta, väritöntä ja erittäin kylmää. Typpikaasu on inertti kaasu eikä se siis pysty syttymään. Nestetypen vuodot voivat aiheuttaa rakenteiden haurastumista kylmävaikutuksen takia. Typpisäiliö voi kuitenkin revetä tulipalon kuumentamana. Typen kiehumispiste on $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. (16; 19)

Typen pitoisuuden noustessa yli 78 %:n syrjäyttää se happea aiheuttaen mahdollisesti hapenpuutteesta johtuvan tukehtumisen. Jos hengittää puhdasta typpeä, seurauksena on välitön tajuttomuus sekä lähes välitön kuolema. (19)

7 Kemiantekniikan laboratorioden räjähdysvaaralliset tilat

Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien yksikkö sijaitsee Vantaalla Myyrmäessä. Yksikössä on A- ja B-puolet, joista A-puoli on valmistunut vuonna 1988 ja B-puoli vuonna 2001. Normaalina arkipäivänä lukuvuoden aikana rakennuksessa saattaa olla kello 7.30 ja 18.00 välisenä aikana paikalla noin 1500 henkilöä.

Kemiantekniikan opetustiloissa on kaksi laitteistoa, joissa käytetään helposti syttyvää vetykaasua. Nämä laitteistot ovat painereaktori ja Fischer-Tropsch-laitteisto. Lisäksi Fischer-Tropsch-laitteiston reaktiokaasu on synteesikaasu, joka on vetykaasun ja hiili-monoksidikaasun seos. Sekä painereaktori että Fischer-Tropsch-laitteisto kuuluvat pienen reaktoritilavuutensa ja paineensa ansiosta hyvän konepajakäytännön piiriin. (21)

Palavien kaasujen käyttö edellyttää tilaluokituksen tekemistä. Se tehtiin asteikolla 0-2, jossa 0 on tiukin tilaluokka. Tilaluokitus määrää tiloissa käytettävien laitteiden minimilaiteluokat.

Molemmissa laitteistoissa käytettävien ja esiintyvien palavien aineiden taulukko löytyy liitteestä 1. Taulukosta käyvät ilmi molemmissa laitteistossa esiintyvien palavien kaasujen tiheydet, R-lausekkeet, räjähdysrajat, syttymislämpötilat sekä syttymis- ja räjähdysryhmät.

Molempien laitteiden osalta häiriötilanteiden riskin arviointi suoritettiin kolmen hengen ryhmässä. Riskin arvioinnissa käytiin läpi mahdollisien syttymislähteiden todennäköisyyksiä ja seurauksien vakavuutta numeraalisesti sekä toimenpiteitä riskin pienentämiseksi. Arviointi jaettiin ennakoitavissa oleviin häiriötilanteisiin, joihin kuuluvat sellaiset riskit, joihin voidaan vaikuttaa ennakkovalmisteluilla, ja ennakoimattomiin häiriötilanteisiin, joita ei voida välttää ennakkotoimilla.

Riskien arvioinnissa käytetyissä taulukoissa, jotka löytyvät liitteistä 2-5, riskin suuruutta kuvaavat numerot 1-5 ovat riskin suuruuden mukaisesti kasvavassa järjestyksessä. Riskin suuruuden ollessa 1-2 riski ei ole niin suuri, että tarvitsisi tehdä erillisiä toimenpiteitä riskin pienentämiseksi. Riskin suuruuden ollessa 3-5 riskiä tulee pienentää. Riskin suuruuteen vaikuttaa vahingon syntymisen todennäköisyys ja sen seurauksen vaka-

vuus. Taulukosta 4 selviävät riskin arvioinnin numeeristen arvojen selitykset ja riskien merkitykset.

Taulukko 4. Riskitaulukko, josta käy ilmi, miten riskin suuruus selviää.

Todennäköisyys	Seuraukset		
	Vähäiset	Haitalliset	Vakavat
Epätodennäköinen	1 Merkityksetön riski	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski
Mahdollinen	2 Vähäinen riski	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski
Todennäköinen	3 Kohtalainen riski	4 Merkittävä riski	5 Sietämätön riski

7.1 Painereaktori

Painereaktorilaitteisto sijaitsee Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen yksikön prosessitekniikan laboratorion viereisessä huoneessa (huone VTYA139).

Painereaktorissa käytetään reagenssien lisäksi vetykaasua ja heliumkaasua. Reaktorissa käytetään normaalisti kaasuista ainoastaan vetyä, kun taas inertillä heliumilla vain inertoidaan eli huuhdellaan laitteisto ennen vedyn käyttöä, jotta vältetään vedyn reagointi laitteistossa mahdollisesti olevan hapen kanssa. Painereaktori on kuvassa 7.



Kuva 6. Painereaktori 4576A HP/HT.

Painereaktorin teräsrakenne mahdollistaa reaktiot selvästi korkeammassa paineessa ja lämpötilassa normaali-ilmanpaineeseen verrattuna. Metropolia Ammattikorkeakoulun painereaktorilla on tarkoitus tehdä tutkimus- ja kehitystyötä, jossa kaksois- ja kolmoissidoksen omaavia yhdisteitä hydrataan korkeassa paineessa. Tällöin vetyä liittyy kaksois- ja kolmoissidoksiin ja tyydyttymättömistä yhdisteistä tulee tyydyttyneitä. Tätä tekniikkaa voidaan soveltaa muun muassa biopolttoaineisiin liittyvään tutkimus- ja kehitystyöhön.

7.1.1 Laitteisto

Painereaktorilaitteisto koostuu Parr Instrument Companyn painereaktorista 4576A HP/HT ja Parr Instrument Companyn reaktorin ohjausyksiköstä 4848 ja Brooksian massavirtaussäätimestä SLA5850S ja painesäätimestä SLA5820D sekä säätimien ohjausyksiköstä The Brooks Model 0254. Painereaktorilaitteistossa yksikään edellä mainituista laitteista ei ole Ex-merkitty.

7.1.2 Vaarojen arviointi

Laitteistossa käytetään helposti syttyvää vetykaasua, joka on 50 l:n kaasupullossa, jonka maksimipaine voi olla 200 baaria. Vedyn pienen molekyylikoon takia laitteiston tiiviyyteen tulee panostaa.

Painereaktorilaitteiston kaasupullot sijaitsevat vetokaapin ulkopuolella, seinään kiinnitettyinä teräsketjuilla kaatumisen estämiseksi.

Reaktorin valmistajan käyttöohjeessa on ilmoitettu, että laitteessa on neljä mahdollista syttymisvaaran aiheuttajaa, jotka tulee ottaa huomioon ennen laitteen käyttämistä.

Ensimmäinen näistä mahdollisista vaaran aiheuttajista on moottori. Moottori ei ole erityisen vaarallinen, jos laitteistoa käytetään hyvin ilmastoidussa tilassa.

Toinen vaaran aiheuttaja on lämpötilan säädin, jossa on osia, jotka eivät ole räjähdysvarmoja. Tämä ongelma ratkaistaan sijoittamalla kyseinen säädin vetokaapin ulkopuolelle, jossa ei ole räjähdysvaarallisia kaasuseoksia. Toinen vaihtoehto olisi koteloida säädin.

Kolmas vaaran aiheuttaja on lämmitin. Lämmittimen lämpöelementit voivat olla vaarallisia räjähdysvaarallisessa kaasuseoksessa, jos elementin lämpötila nousee riittävän korkeaksi sytyttääkseen palavan kaasun. Lämmittimen maksimilämpötila on 500 °C, joten sen ei pitäisi kyetä sytyttämään vetykaasun ja ilman seosta, vaikka vetypitoisuus nousisi yli räjähdysrajan.

Neljäs vaaran aiheuttaja on johdotus. Reaktori ei täytä laitteen käyttöohjeen mukaan räjähdysvarman toiminnan standardeja.

Tiloissa on kaasuilmaisim, joka sijaitsee tilan katonrajassa. Kaasuilmaisimien havaitessa vetykaasun pitoisuudeksi 1 ppm syttyy hälytysvalo ja kuuluu varoitusääni. Vetykaasun ylittäessä 2 ppm tapahtuu hälytys kiinteistön valvontakeskuksessa.

Sähkö laitteistoon ja vetokaappiin tulee maadoitetusta pistorasiasta.

Normaalitoiminnan aikana painereaktorilaitteisto on turvallinen. Ennakoimattomien ja ennakoitavissa olevien häiriötilanteiden aiheuttamien syttymislähteiden vaarojen arviointi ja toimenpiteet löytyvät taulukoituna liitteistä 2 ja 3.

7.1.3 Tilojen kartoitus

Koko painereaktorilaitteiston sisäpuolinen tila kuuluu tilaluokkaa 0.

Jokaisen putkiliitoksen ja venttiilin läheisyys kuuluu tilaluokkaan 2.

Vetokaappi

Vetyä ei laitteiston normaalitoiminnan aikana pitäisi kertyä vetokaappiin yli 4 tilavuusprosenttia, jolloin se voidaan lähes kokonaisuudessaan luokitella tilaluokkaan 2. Tämä johtuu siitä, että laitteistossa on massavirtaussäädin, jolla saadaan säädettyä syöttö niin pieneksi, että vetokaapin vetypitoisuus ei tule normaalioloissa ylittämään vedyn ja hapen seoksen räjähdysrajan alarajaa 4 %. Vetokaapin ollessa toimintakunnossa sen imukyky on normaalisti 200–400 m³/h, jota voidaan tarvittaessa kasvattaa säätämällä ilmanvaihdon tehoa.

Reaktorin tyhjennyksessä saattaa syntyä tilaluokka 1 tyhjennyskohtien läheisyydessä. Sama tilanne saattaa muodostua murtolevyn läheisyydessä, jos paine kasvaa laitteistossa jostain syystä riittävän korkeaksi murtamaan sen.

Ilmastointi

Vetokaapin poistoilma menee vetokaapista suoraan kiinteistön normaaliin laboratoriotilojen ilmanvaihtokanavaan, jolloin käytännössä ilmanvaihtokanava kuuluu tilaluokkaan 2, kuten vetokaappikin.

Kaasupullot

Kaasupullojen yläpuolinen lähiympäristö kuuluu tilaluokkaan 2, koska vety ilmaa kevyempänä nousee mahdollisen vuodon sattuessa ylöspäin.

7.1.4 Toimenpiteet

Mielestäni säätimet voisi varmuuden vuoksi koteloida. Reaktorin ja säätimien ohjausyksiköt tulisi sijoittaa vetokaapin ulkopuolelle, mahdollisesti vetokaapin alla olevaan tilaan, koska niillä ei ole Ex-merkintää. Poistoilman järjestelyä voisi harkita uudestaan, koska ilmanvaihtoputkisto painereaktorilta eteenpäin kuuluu tilaluokkaan 2 ja loppuosa putkistosta on luokittelematonta.

7.2 Fischer-Tropsch-laitteisto

Fischer-Tropsch-laitteisto sijaitsee Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen yksikön prosessitekniikan laboratorion toisessa kerroksessa (huone VTYA141). Kuvassa 8 on Fischer-Tropsch-laitteisto.

Sitä käytetään hiilivetyjen valmistukseen sekä kyseisen prosessin tutkimiseen. Laitteistolla voidaan tutkia prosessiin liittyviä katalyyttejä, raaka-aineita sekä prosessiolosuhteita kuten painetta ja lämpötilaa.

Prosessin ensisijainen tarkoitus on tuottaa erittäin puhtaita synteettisiä nestemäisiä polttoaineita.

Fischer-Tropsch-prosessi on kolmivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa tapahtuu yleensä synteesikaasun tuottaminen ja puhdistus. Toisessa vaiheessa synteesikaasu syöte-

tään Fischer-Tropsch-laitteistoon. Viimeiseen vaiheeseen kuuluu tuotteiden jatkojalostus.

Metropolian Fischer-Tropsch-laitteistossa käytetään vetykaasua katalyytin aktivointiin ja vedyn ja hiilimonoksidin seoskaasua, jota kutsutaan yleisesti synteesikaasuksi. Synteesikaasusta 70 % on vetyä ja 30 % hiilimonoksidia. Laitteisto huuhdellaan ennen koeajoja inertillä typpikaasulla, jotta vältetään vedyn reagointi laitteistossa mahdollisesti olevan hapen kanssa.



Kuva 7. Fischer-Tropsch-laitteisto kaasupulloineen.

7.2.1 Laitteisto

Fischer-Tropsch-laitteisto on hyvin yksinkertainen. Ainoa sähkölaite koko laitteistossa on Naberthem RT 50–250/11 –uuni, joka ei ole Ex-hyväksytty.

Sähkö laitteistoon ja vetokaappiin tulee maadoitetusta pistorasiasta.

7.2.2 Vaarojen arviointi

Laitteistossa käytetään räjähdysherkkiä kaasuja, vetyä ja vedyn ja hiilimonoksidin seosta, jotka ovat 50 l:n kaasupullossa, jonka maksimipaine voi olla 200 baaria. Yhtenä tuotteena syntyy myös helposti syttyvää metaanikaasua, joka on väritön, hajuton ja ilmaa kevyempi kaasu. Metaanin itsesyttymislämpötila on 537 °C syttymisrajan ollessa 5 – 15 %. Metaania syntyy kuitenkin niin vähän, että sen pitoisuus ilmassa ei pääse ylittämään alemmaa räjähdysrajaansa. Vedyn pienen molekyylikoon takia laitteiston tiiveyteen tulee panostaa.

Fischer-Tropsch-laitteisto on kokonaan ruostumatonta haponkestävää terästä. Ruostumattomasta teräksestä rakennettu laitteisto on hyvä, koska ruosteinen pinta saattaa sytyttää vedyn huomattavasti itsesyttymislämpötilaa alemmassa lämpötilassa.

Reaktorin käyttölämpötila on 200 °C – 300 °C, joten vetokaapissa ei pitäisi olla uunin normaalitoiminnan aikana mitään niin kuumaa pintaa, että se pystyisi sytyttämään mahdollisen vetykaasun palamaan, vaikka vetypitoisuuden räjähdysrajan alaraja ylittyisi. Uunin maksimilämpötila on kuitenkin 1100 °C, joka saattaa mahdollistaa niin kuuman pinnan, että vedyn syttyminen olisi mahdollinen.

Fischer-Tropsch-laitteiston kaasupullot sijaitsevat vetokaapin ulkopuolella seinään kiinnitettyinä kaatumisen estämiseksi. Katossa on kaasunilmaisimet, jotka ovat viistossa kaasupulloihin nähden. Kaasuilmaisimien havaitessa vetykaasun pitoisuudeksi 1 ppm syttyy hälytysvalo ja kuuluu varoitusääni. Vetykaasun ylittäessä 2 ppm tapahtuu hälytys kiinteistön valvontakeskuksessa.

Fischer-Tropsch-laitteisto on normaalin toiminnan aikana turvallinen. Ennakoimattomien ja ennakoitavissa olevien häiriötilanteiden aiheuttamien syttymislähteiden vaarojen arviointi ja toimenpiteet löytyvät taulukoituna liitteistä 4 ja 5.

7.2.3 Tilojen kartoitus

Koko Fischer-Tropsch-laitteiston sisäosat kuuluvat tilaluokkaan 0.

Jokaisen putkiliitoksen ja venttiilin läheisyys kuuluu tilaluokkaan 2.

Vetokaappi

Vetokaappi itsessään kuuluu pääosin tilaluokkaa 2. Varoventtiilien läheisyydessä tilaluokka on kuitenkin 1. Tilaluokkaa yksi on myös muiden poistoventtiilien läheisyydet. Fischer-Tropsch-laitteiston vetokaapin ilmanvaihto on $1020 \text{ m}^3/\text{h}$, ollen noin kaksi kertaa normaalia vetokaapin ilmanvaihtoa tehokkaampi, jolloin räjähdysvaarallisten kaasujen jääminen vetokaappiin on hyvin lyhytkestoista.

Ilmanvaihto

Fischer-Tropsch-laitteiston poistoilma tulee vetokaapista haitariputkea pitkin ulos yläkerran ikkunasta käyttäen puhallinta, jonka tuottama ilmavirtaus on $1020 \text{ m}^3/\text{h}$. Puhallin on Ex-suojattu ja tarkoitettu tilaluokkaan 2. Tällöin ilmastoinnin pitäisi olla turvallinen. Poistoilmaputken sisäpuoli kuuluu tilaluokkaan 2, koska vetokaapin sisätilat kuuluvat pääsääntöisesti tilaluokkaan 2.

Kaasupullot

Kaasupullojen yläpuolinen lähiympäristö kuuluu tilaluokkaan 2, koska vety ja hiilimonoksidi ovat ilmaa kevyempiä ja nousevat mahdollisen vuodon sattuessa ylöspäin.

7.2.4 Toimenpiteet

Koska hiilimonoksidi on vain hieman ilmaa kevyempää, tulisi ilmaisijoiden sijaintia harkita uudestaan. Samalla voitaisiin harkita kannettavaa hälytinlaitetta hiilimonoksidin ja typen varalta.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien yksikön kemiantekniikan laboratoriotiloihin, joissa käytetään helposti syttyvää vetykaasua, tilaluokitus ja syttymislähteiden riskin arviointi ja toimenpide-ehdotuksia riskien pienentämiseksi.

Riskin arviointi helpottaa varautumista mahdollisiin häiriötilanteisiin. Ennakoitavissa oleville häiriötilanteille tarkoitetuilla toimenpide-ehdotuksilla pyritään välttämään häiriötilanteisiin joutumista. Ennakoimattomille häiriötilanteille tarkoitetuilla toimenpide-ehdotuksilla puolestaan pyritään välttämään mahdollisen häiriötilanteen tapahtuessa suuremmat vahingot. Riskin arvioinnissa tavoitteet ovat direktiivin 99/92/EY mukaisesti selvittää räjähdysvaaran olemassaolo ja estää räjähdysten tapahtuminen.

Tehty tilaluokitus tulee olemaan osa Leiritien yksikön räjähdys suojausasiakirjaa, joka kuuluu myös direktiivin 99/92/EY määäämiin työnantajan velvollisuuksiin. Tilaluokituksen teko oli hieman hankalaa, koska laitteisto oli jo hankittu ennen tilaluokituksen tekemistä. Normaalisti ensiksi tehdään tilaluokitus ja vasta sitten hankitaan sopiva laitteisto kyseisiin tiloihin.

Koska hiilimonoksidi on vain hieman ilmaa kevyempää, tulisi Fischer-Tropsch-laitteiston läheisyydessä olevien ilmaisijoiden sijaintia harkita uudestaan. Samalla voitaisiin harkita kannettavaa hälytinlaitetta hiilimonoksidin ja typen varalta.

Mielestäni painereaktorilaitteistonsäätimet voisi varmuuden vuoksi koteloida. Reaktorin ja säätimien ohjausyksiköt tulisi sijoittaa vetokaapin ulkopuolelle, mahdollisesti vetokaapin alla olevaan tilaan, koska niillä ei ole Ex-merkintää. Poistoilman järjestelyä voisi myös harkita uudestaan, koska ilmanvaihtoputkisto painereaktorilta eteenpäin kuuluu tilaluokkaan 2 ja loppuosa putkistosta on luokittelematonta.

Käyttöohjeiden laadintaa hankaloitti hieman se, että en ole itse käyttänyt kumpaakaan laitetta.

Lähteet

1. Työturvallisuuslaki. 2002. 23.8.2002/738.
2. ATEX räjähdysvaarallisten tilojen turvallisuus. 2009. Helsinki: Turvatekniikan Keskus.
3. Räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita ja suojajärjestelmiä koskevan jäsenvaltioiden lainsäädännön lähentämisestä. 1994. 94/9/EY.
4. ATEX räjähdysvaarallisten tilojen, laitteiden, asennusten ja tilaluokituksen standardit. 2011. Helsinki: SFS.
5. Painelaitteet. Helsinki: Turvatekniikan Keskus
6. SFS-käsikirja 59. 1998. Räjähdysvaarallisten tilojen luokittelu. Palavat nesteet ja kaasut. Öljy- ja Kaasualan Keskusliitto. 4.p Helsinki:SFS
7. SFS-EN 1127-1. 2008. Räjähdysvaaralliset tilat. Räjähdysten esto ja suojaus. Osa 1: Perusteet ja menetelmät. Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. 2.p. Helsinki: SFS.
8. SFS-EN 60079-14. 2009. Räjähdysvaaralliset Tilat. Osa 14: Sähköasennusten suunnittelu, laitevalinta ja asentaminen. SESKO ry. Helsinki: SFS.
9. SFS-EN 60079-10-1. 2010. Räjähdysvaaralliset tilat. Osa 10-1: Tilaluokitus. Kaasuräjähdysvaaralliset tilat. SESKO ry. Helsinki: SFS.
10. Ohjeellinen toimintaopas vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamiseksi annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 1999/92/EY täytäntöönpanemiseksi. 2003. KOM(2003) 515 lopullinen.

11. Väilä, Jari. 2010. Räjähdyssuojausasiakirjan laadinnan käytäntöjä. Direktiivien vaatimukset räjähdysvaarallisille tiloille ja niissä käytettäville laitteille. Inspectan koulutusmateriaali.
12. Sulonen, Risto. 2010. ATEX-laitteiden laiteluokitus, laiterakenteet ja – vaatimukset sekä vaatimuksenmukaisuus. Direktiivien vaatimukset räjähdysvaarallisille tiloille ja niissä käytettäville laitteille. Inspectan koulutusmateriaali.
13. Sulonen, Risto. 2010. ATEX-direktiivit. Direktiivien vaatimukset räjähdysvaarallisille tiloille ja niissä käytettäville laitteille. Inspectan koulutusmateriaali.
14. Sulonen, Risto. 2010. Räjähdyssvaarallisten tilojen luokitus ja laitevalinta. Direktiivien vaatimukset räjähdysvaarallisille tiloille ja niissä käytettäville laitteille. Inspectan koulutusmateriaali.
15. OVA-ohje: Vety. (WWW-dokumentti)
<<http://www.ttl.fi/ova/vety.html>> Päivitetty 13.1.2011. Luettu 17.2.2011.
16. International Chemical Safety Cards. (WWW-dokumentti)
<<http://www.inchem.org/pages/icsc.html>> Luettu 18.2.2011.
17. OVA-ohje: Hiilimonoksidi. (WWW-dokumentti)
<<http://www.ttl.fi/ova/hiilmono.html>> Päivitetty 13.1.2011. Luettu 17.2.2011.
18. Helium. (WWW-dokumentti)
<<http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like35agafi.nsf/docbyalias/helium>> 2010. Luettu 17.2.2011.
19. OVA-ohje: Typpi. (WWW-dokumentti)
<<http://www.ttl.fi/ova/ttypi.html>> Päivitetty 28.2.2003. Luettu 17.2.2011.
20. Luettelo yleisimmistä palavista nesteistä. 1999. Helsinki. Turvatekniikan Keskus. TUKES-julkaisu.
21. Partanen, Jorma. Turvallisuusinsinööri. Tukes. Kaasuliitokset. Vastaanottaja Kortessalmi, Johanna. Projektinsinööri. Metropolia Amk. Sähköposti. Lähetetty 15.11.2010 klo. 19.06. Viitattu 5.4.2011.

22. Riskinarviointi. (WWW-dokumentti)
<http://osha.europa.eu/fi/topics/riskassessment/index_html> Luettu 4.4.2011.
23. Riskien arviointi. (WWW-dokumentti)
<<http://www.tyosuojelu.fi/fi/riskienarviointi>> Luettu 4.4.2011.
24. Riskianalyysit. (WWW-dokumentti)
<<http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/>> Luettu 4.4.2011.
25. Valmistajan käyttöohje. Parr Instrument Company. 4570 HP/HT Pressure Reactors. Operating Instruction Manual No. 397M. 16.10.2008.
26. Valmistajan käyttöohje. Parr Instrument Company. 4848 Reactor Controller. Operating Instruction Manual NO. 548M. 24.8.2009.
27. Valmistajan käyttöohje. Parr Instrument Company. Parr Magnetic Drives. Operating Instruction Manual NO. 234M. 14.1.2009.

Palavien kemikaalien taulukko

Taulukko 5. Palavien kemikaalien taulukko.

Palava aine / luokitus (R-lauseke)	Leimah- dus-piste, °C	Höy- ryn/kaas un tiheys Ilma = 1.0	Räjähdy- sra- jat (g/ m3) LEL/UEL	Räjähdy- sra- jat (til-%) LEL/UEL	Syttymis- lämpötila, °C	Syttymis- ryhmä	Räjähdy- sryhmä
Painereaktori							
Vety / R12	Kaasu	0,07	3,3-64	4-75,6	560	T1	IIC
Fischer-Tropsch							
Vety / R12	Kaasu	0,07	3,3-64	4-75,6	560	T1	IIC
Hiljimonoksidi / R61, R12, R23, R48/23	Kaasu	0,97	145-870	12,5-74	605	T1	IIB
Metaani / R12	Kaasu	0,6	33-100	5-15	537	T1	I

Painereaktorin ennakoitavissa olevat häiriötilanteet

Taulukko 6. Painereaktorin ennakoitavissa olevien virhetoimintojen mahdollisesti aiheuttamat syttymislähteet, riskien suuruudet ja toimenpide ehdotukset.

Painereaktori		
Syttymislähde	Riskin suuruus	Toimenpide
Säätimet	3	Kotelointi
Ohjausyksiköt	3	Sijoitetaan pois Ex-tilasta.
Lämmitin	2	Valvonta, ei jätetä yksin ajon aikana.
Murtolevy		Ohjaus ilmastointiin.
Sähkökatko	4	Ilmoitusjärjestelmä, jossa ilmoitetaan tulevista katkoista. Ei ajoja tällöin.
Staattinen sähkö	3	Vaatetus
Tiiveys	2	Inertoinnin aikana paineen tarkkailu.
Valaistus	2	Suojattu syttymislähteiden putoamisen estämiseksi.
Kaasupullon vuoto	3	Vain ammattitaitoinen henkilö saa suorittaa kaasupullojen vaihdon.

Painereaktorin ennakoimattomat häiriötilanteet

Taulukko 7. Painereaktorilaitteiston ennakoimattomien virhetoimintojen mahdollisesti aiheuttamat syttymislähteet, riskien suuruudet ja suoritettava toimenpiteet.

Painereaktori		
Syttymislähde	Riskin suuruus	Toimenpide
Sähkökatko	4	Venttiilit kiinni ja vetokaapin valo pois päältä.
Palohälytys	4	Venttiilit kiinni ja vetokaapin valo pois päältä.
Kaasuvuoto	3	Venttiilit kiinni
Sähköliitännät	2	Venttiilit kiinni
Moottori	2	Venttiilit kiinni

Fischer-Tropsch-laitteiston ennakoitavissa olevat häiriötilanteet

Taulukko 8. Fischer-Tropsch-laitteiston ennakoitavissa olevien virhetoimintojen mahdollisesti aiheuttamat syttymislähteet, riskien suuruudet ja suoritettavat toimenpiteet.

Fischer-Tropsch		
Syttymislähde	Riskin suuruus	Toimenpide
Uunin yllämpeneminen	3	Valvonta, ei jätetä yksin.
Jäähdytysletkun irtoaminen	3	Letkun kiristimellä kiinni.
Valaistus	2	Suojattu syttymislähteiden putoamisen estämiseksi.
Tiiveys	2	Inertoinnin aikana paineen tarkkailu.
Kemiallinen reaktio	2	Katalyytin määrää ei lisätä.
Sähkökatko	4	Ilmoitusjärjestelmä, jossa ilmoitetaan tulevista katkoista. Ei ajoja tällöin.
Staattinen sähkö	3	Vaatetus
Kaasupullon vuoto	3	Vain ammattitaitoinen henkilö saa suorittaa kaasupullojen vaihdon luvalla.

Fischer-Tropsch-laitteiston ennakoimattomat häiriötilanteet

Taulukko 9. Fischer-Tropsch-laitteiston ennakoimattomien virhetoimintojen mahdollisesti aiheuttamat syttymislähteet, riskin suuruus ja suoritettava toimenpiteet.

Fischer-Tropsch		
Syttymislähde	Riskin suuruus	Toimenpide
Sähkökatko	4	Venttiilit kiinni ja veto- kaapin valo pois pääl- tä.
Palohälytys	4	Venttiilit kiinni ja veto- kaapin valo pois pääl- tä.
Kaasuvuoto	3	Venttiilit kiinni

Painereaktorin käyttöohje

Esivalmistelut

Ennen ajon aloittamista tarkasta, että ilmastointi toimii kunnolla. Seuraavaksi varmista, että lämpötila- ja paineanturit, sekoittaja ja tietokone on kytketty reaktorin ohjausyksikköön. Varmista vielä, että jäähdytysveden letkut ovat paikoillaan.

Tarkasta vielä venttiilien asennot ja kannentiivisteiden kunto.

Koeajon aloitus

Laita tarvitsemasi reagenssit reaktorisäiliöön. Älä ylitä säiliötä. Nesteiden määrän ei tule ylittää kahta kolmasosaa säiliön tilavuudesta.



Kuva 1. Kansi ilman lisäosia, tiiviste, reaktorisäiliö ja rengasliittimen molemmat puoliskot.

Seuraavaksi nosta reaktorisäiliö kiinni kanteen ja aseta reaktorin kaulus (rengasliitin) paikoilleen ja kiristä kauluksen pultit oikeaan momenttiin. Kuvassa 1 on kansi, tiiviste,

reaktorisäiliö ja rengasliittimen molemmat puoliskot. Aloita kiristämällä jokainen pultti ensin sormikireäksi ja sitten, kun kaikki pultit ovat sormikireitä, kiristä kaikkia pultteja, kunnes niiden momentti on 10 ft-lb. Lopuksi kiristä pultit oikeaan momenttiin siten, että toinen kiristettävä pultti on 180 astetta ensimmäisenä kiristettävästä pultista. Jatka sitten loppujen pulttien kiristämistä ristiin kiristämällä.

Käyttäessäsi teflon-tiivistettä kiristä pultit taulukon 1 mukaiseen momenttiin, joka vastaa käytettävää painetta.

Taulukko 1. Teflon-tiivisteeseen kiristämiseen tarvittava momentti.

Paine (PSI)	Momentti (ft/lbs)
2100	25
4000 - 6000	35

Oikeasta kiristysmomentista on alla taulukko 2, kun tiivisteenä on Grafoil-tiiviste, jossa on reaktorin painetta vastaa kiristysmomentti. Tässä oikea osa on 457HC3KL.

Taulukko 2. Grafoil-tiivisteeseen kiristys momentit.

Parr Part No.	Pressure (psi)	Torque (ft-lb)
315HC4KL	1900	35
429HC2KL	3000 to 5000	15
457HC3KL	3000	35
457HC3KL	5000 to 6000	40
655HC3KL	1900	35
1808HCKL	5000	40
1812HCKL	3000	35
1829HCKL	8500	15
1559HC2KL	1900	135

Huomio, että laitteen maksimikäyttöpaine on 170 baaria eli hieman alle 2500 psi. Tätä suurempaa painetta eivät pikkuventtiilit kestä.

Laske reaktorisäiliön kannatinteline alas ja siirrä lämmitin reaktorisäiliön päälle.

Seuraavaksi avaa jäähdytysvesihana.



Kuva 2. Painereaktorin ohjausyksikön ohjauspaneeli.

Tämän jälkeen kytke virrat päälle molempiin säädinyksiköihin. Reaktorin ohjausyksikön päävirtakytkin löytyy laitteen takapuolelta ja virtaussäätimeen saat virrat päälle pitämällä Start/Home-nappia 3 sekuntia painettuna. Kuvassa 2 on painereaktorin ohjausyksikön etupaneeli. Virtojen kytkemisten jälkeen tarkasta, että paine- ja lämpötilalukemat vastaavat ympäristön vastaavia lukemia. Käynnistä lämmitin painamalla heater-kytkin joko asentoon I, jos käyttölämpötila on alle 175 °C, tai asentoon II, jos käyttölämpötila on korkeampi. Aseta reaktorin ohjausyksiköstä lämmittimelle haluamasi lämpötila. Tämä tapahtuu primary temperature-ohjausmoduulista, joka on esitetty kuvassa 3. Paina nuolinäppäimiä joko ylös tai alas, kunnes alemmassa (SV) näytössä on haluttu lämpötila ja paina sitten set nappia. Näyttö vilkkuu, kunnes haluttu lämpötila on asetettu. Ylempi näyttö (PV) näyttää tämän hetkisen lämpötilan.



Kuva 3. Reaktorin ohjausyksikön lämpötilan ohjausmoduuli.

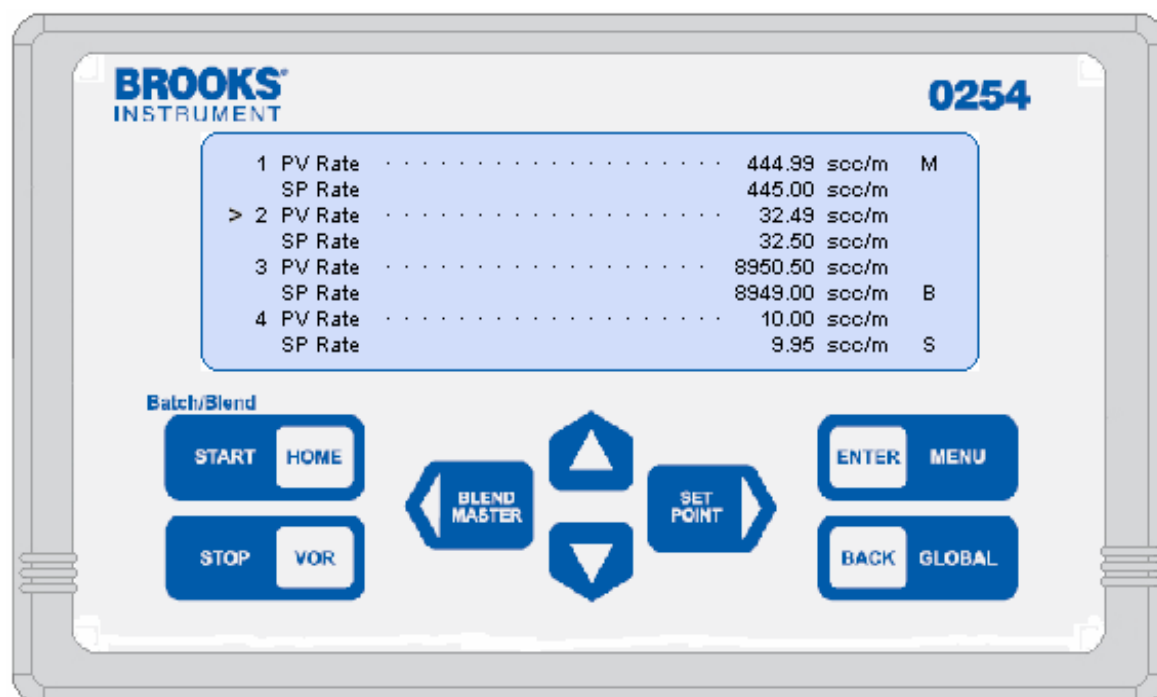
Seuraavaksi käynnistä tietokoneelta Parr-ohjelma ja yhdistä tietokone reaktoriin klikkaamalla connect-nappulaa. Tällöin saat ohjausyksikön arvot näkymään myös tietokoneen ruudulta.

Inertointi

Linjan inertointi tapahtuu syöttämällä heliumia reaktoriin. Avaa heliumin sulkuventtiili ja kaasupullon pääventtiili ja säädä haluamasi paine kaasupullon painesäätimellä. Suorittaessasi inertointia aja heliumia tarvittaessa sekä massavirtasäätimen että painesäätimen kautta. Sulje sitten heliumkaasupullon pää- ja sulkuventtiilit ja tarkasta, pysyykö paine laitteistossa vakiona.

Koeajo

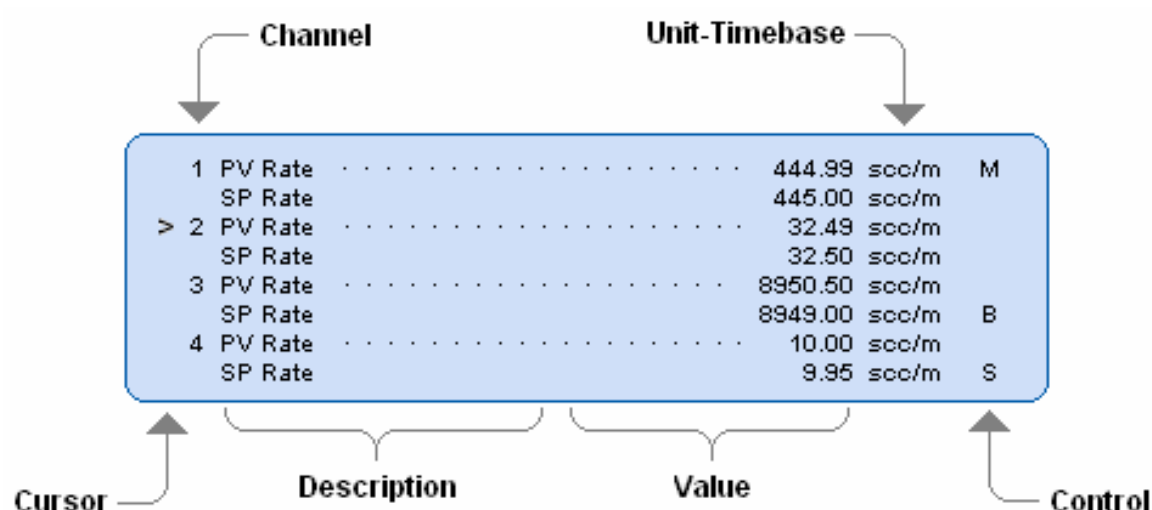
Käynnistä reaktorin lämmitin painamalla heater-kytkin joko asentoon I, jos käyttölämpötila on alle 175 °C, tai asentoon II. Tarvittaessa laita sekoitus päälle painamalla motor-kytkin I-asentoon ja säädä sekoitusnopeus kääntämällä speed-nuppia haluamaasi nopeuteen.



Kuva 4. Säädinyksiköiden ohjauspaneelin kotinäkymä.

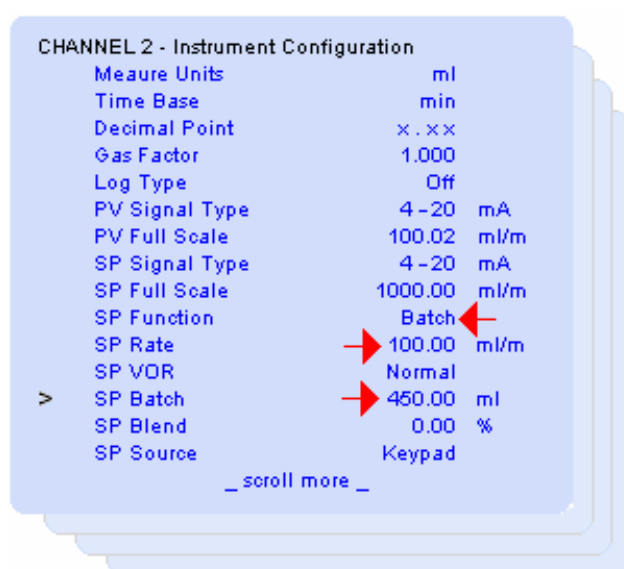
Seuraavaksi vaihda kaasun syöttö vedylle kääntämällä kaasunvalintaventtiiliä. Avaa vetypullon pää- ja sulkuventtiilit ja säädä haluamasi maksimipaine kaasupullon säätöventtiilistä.

Valitse, haluatko käyttää kaasun syötössä paine- vai massavirtasäädintä. Siirrä kursori kotinäkymässä, joka on esitetty kuvassa 4, nuolinäppäimillä joko kanavan 1 tai kanavan 2 kohdalle. Valitse kanava 1, kun haluat käyttää massavirtasäädintä, tai kanava 2, kun haluat käyttää painesäädintä kaasun syötössä, ja paina sitten enter/menu-nappia. Kotinäkymässä olevien tietojen selitykset löytyvät kuvasta 5.



Kuva 5. Säädinyksikön kotinäkyvän selitykset.

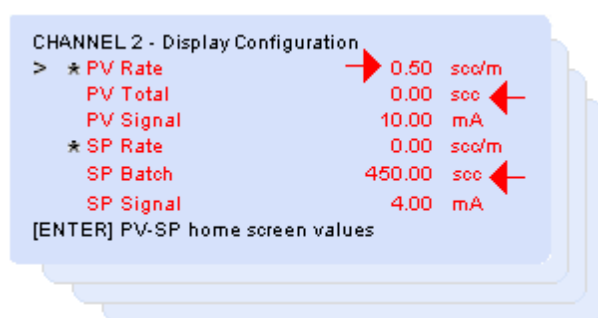
Seuraavasta valikosta valitse Instrument Configuration ja paina enter/menu-nappia. Seuraavaksi avautuvasta ikkunasta pitää asettaa kuvassa 6 nuolilla esitetyt kohteet. SP Function -kohtaan tulee valita Batch, SP Rate -kohtaan asetetaan kaasun haluttu syöttönopeus ja SP Batch -kohtaan asetetaan kaasun kokonais syöttömäärä. Measure Units -kohdasta voi vaihtaa syötön yksikön ja Time Basesta ajan yksikön.



Kuva 6. Syötön kannalta välttämättömät kohdat.

Kaasun syötön aloittaminen tapahtuu kotinäkymästä. Kanavat, joiden SP Rate -kohdan lopussa on kirjain B, on valmiiksi ohjelmoitu. Mene haluamasi kanavan kohdalle ja paina kolme kertaa START-nappia. B-kirjaimen vilkkuminen ilmoittaa, että kaasun syöttö on käynnissä.

Syötön edistymistä voi seurata valitsemalla kotinäkymästä kyseinen kanavan ja painamalla enter/menu-nappia. Valitsemalla avautuvalta sivulta Display Configuration -kohta ja painamalla enter/menu-nappia aukeaa kuvan 7 mukainen ikkuna. Tässä ikkunassa PV Total näyttää syötetyn kaasun määrän ja PV Rate kaasun syöttönopeuden. Nämä arvot päivittyvät reaaliajassa. SB Batch -kohdassa näkyy asetettu syöttömäärä.



Kuva 7. Kaasun syötön reaaliaikainen seurantaikkuna.

Mikäli haluat lisätä reaktoriin nestettä kesken koeajoa, noudata opettajan antamia ohjeita.

Noudata opettajan antamaa ajoaikaa.

Ajon lopetus

Kaasun syöttö reaktorisäiliöön loppuu automaattisesti siinä vaiheessa, kun käytetyn kanavan PV Total -arvo saavuttaa ohjelmoidun SP Batch -arvon. Kaasun syötön voi pysäyttää manuaalisesti kesken syötön palaamalla kotinäkymään ja painamalla stop-nappia. Tällöin B-kirjain kanavan SP Raten perässä lopettaa vilkkumisen. START-napin painaminen kolme kertaa nollaa syötetyn kaasun määrän ohjelman muistista, ennen uuden ajon aloittamista.

Kun ajo on loppunut, sammuta lämmitin kytkemällä heater-kytkin 0-asentoon ja käännä sekoittimen nopeus minimiin ja sitten, kun sekoitin on pysähtynyt, käännä motor-kytkin asentoon 0.

Anna laitteiston jäähtyä hetken aikaa, ennen kuin päästät paineen kaasunvapautus-venttiilillä laitteistossa. Paineen laskettua avaa varovasti reaktorin kauluksen pultit. Reaktorisäiliö saattaa olla kuuma, joten käytä lämmönkestäviä hansikkaita. Irrota reaktori ja kerää tuotteet talteen.

Sammuta reaktorin ja virtasäätimien ohjausyksiköt. Virtasäätimen ohjausyksikkö sammuu painamalla stop/vor-nappulaa 3 sekuntia. Sulje lopuksi jäähdytysvesi ja tarkasta vielä, että kaasupullojen pääventtiilit on suljettu.

Fischer-Tropsch-laitteiston käyttöohje

Esivalmistelut

Aluksi asenna ilmastointiputki ikkunaan, minkä jälkeen käynnistä ilmastointi vetokaapin reunasta. Varmista, että ilmastointi on päällä ja se toimii.

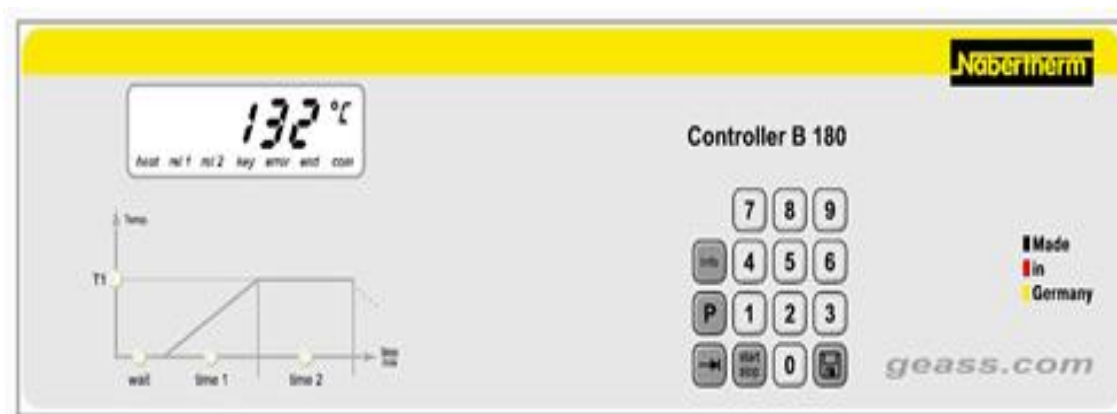
Seuraavaksi tarkista, että laitteistossa ei ole painetta. Kun laitteistossa ei ole painetta, sulje kaikki venttiilit.

Inertointi

Valitse viisitieventtiilistä typpikaasu kääntämällä venttiili typpelle. Tämän jälkeen avaa typpipullon pääventtiiliä ja painesäätimen sulkuventtiili. Seuraavaksi syötä linjaan 5-10 baarin paine säätämällä typpipullon painesäätimen säätöventtiilistä. Seuraavaksi sulje typen syöttö sulkemalla venttiilit ja seuraa painetta laitteistossa. Laitteisto on tiivis silloin, kun paine pysyy tasaisena. Tällöin voit jatkaa koeajoa.

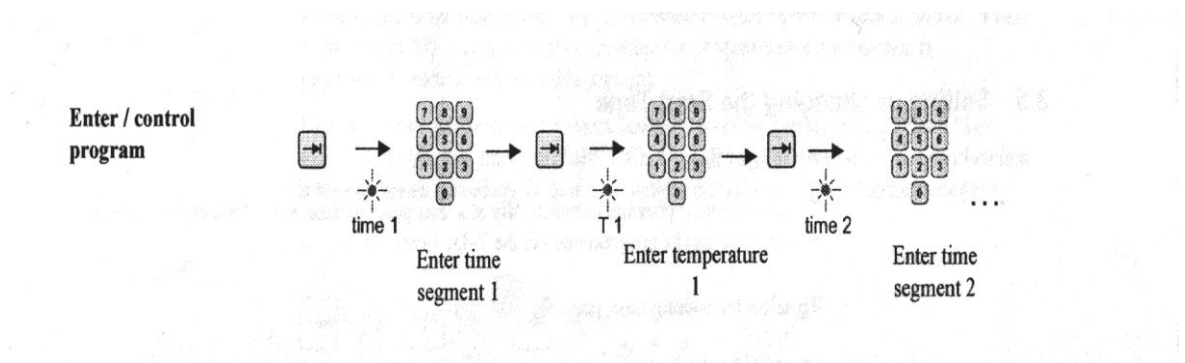
Uunin lämpötilan asettaminen

Varmista, että jäähdytysveden letkut ovat paikoillaan. Tämän jälkeen avaa kylmävesihana.



Kuva 8. Nabertherm RT 50–250/11 –uunin säädin B180.

Käynnistä Naberthem RT 50–250/11 –uuni virtakytkimestä. Ohjelmoi uuni haluamallasi lämpötila-alueelle. Lämpötilan säätö tapahtuu uunin ohjauspaneelista kuvan 9 mukaisessa järjestyksessä. Kohtaan time 1 asetetaan lämmityksen kesto, kohtaan T1 tulee haluttu lämpötila, ja time 2 on aika, jonka ajan uuni pysyy valitussa lämpötilassa. Käynnistä sitten lämmitys painamalla start/stop-nappia. Kuvassa 8 on uunin ohjauspaneeli.



Kuva 9. Naberthem RT 50-250/11 -uunin lämpötilan ja lämmitysajan asettaminen.

Avaa neulaventtiiliä hieman saadaksesi pienen kaasuvirtauksen aikaan reaktorin läpi. Säädä neulaventtiilillä virtaukseksi noin 100 ml/min. Varmista, että reaktori ei pääse tyhjentymään kokonaan.

Katalyytin aktivointi

Aloittaessasi katalyytin aktivointia käännä viisitieventtiilistä kaasun syöttö vedylle. Seuraavaksi avaa vetypullon päähana ja paineensäätimen sulkuventtiili. Säädä paine enintään kahteen baariin paineensäätimen säätöventtiilillä.

Tarkasta kaasun virtausnopeus virtausmittarista. Säädä neulaventtiilillä virtausnopeus mahdollisimman pieneksi (n. 100 ml/min).

Koeajo

Aktivoinnin jälkeen sulje neulaventtiili, ennen kuin alat syöttää seoskaasua. Muuten saattaa käydä niin, että kaikki kaasu pääsee pois reaktorista, jolloin linjasto pitää inertoida uudelleen.

Sulje sitten vetypullon pää- ja sulkuventtiilit. Seuraavaksi valitse viisitieventtiilistä synteesikaasu ja avaa synteesikaasupullon pää- ja sulkuventtiilit. Tämän jälkeen seuraa painetta laitteistossa ja säädä paine yhdeksään baariin käyttämällä synteesikaasupullon painesäätimen säätöventtiiliä.

Avaa jälleen neulaventtiiliä sen verran, että virtausnopeus on noin 100 ml/min.

Tuotteiden kerääminen

Koeajon suoritettuasi sulje seoskaasupullon pää- ja sulkuventtiilit. Tämän jälkeen anna paineen laskeutua rauhassa.

Kerää syntyneet tuotteet avaamalla kuuma- ja kylmäkerääjäputkien käsiventtiilit.

Lopetus

Uunin jäähtyminen kestää useita tunteja koeajojen lopettamisen jälkeen, joten ole varovainen, jos kosket laitteistoon ja käytä lämmönkestäviä hansikkaita.

Sulje jäähdytysvesihana. Tämän jälkeen varmista, että kaikkien kaasupullojen pääventtiilit on suljettu. Sammuta uuni vasta lopetettuasi lämmitysohjelmat. Lopuksi sulje ilmastointi ja ota ilmastointiputki pois ikkunasta.